

**ANALISIS KECACATAN PIPA *CORETUBE* PROSES *BRAZING*
MENGUNAKAN METODE *SIX SIGMA* DAN *ANALYTICAL*
HIERARCHY PROCESS (AHP)**

SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



FAJRI RAHMAN
NIM. 135060700111070

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

**ANALISIS KECACATAN PIPA *CORETUBE* PROSES *BRAZING*
MENGUNAKAN METODE *SIX SIGMA* DAN *ANALYTICAL*
HIERARCHY PROCESS (AHP)**

SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



FAJRI RAHMAN
NIM. 135060700111070

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	6
1.3 Perumusan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	7
1.6 Asumsi-Asumsi.....	7
1.7 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	9
2.2 Definisi Kualitas	11
2.3 <i>Waste Defect</i>	11
2.4 Pengendalian Kualitas	12
2.4.1 Pengertian Pengendalian Kualitas	12
2.4.2 Tujuan Pengendalian Kualitas	12
2.4.3 Perspektif Pengendalian Kualitas	12
2.5 <i>Six Sigma</i>	13
2.5.1 Aspek <i>Six Sigma</i>	14
2.5.2 Manfaat <i>Six Sigma</i>	14
2.6 Tahap-Tahap Pengendalian Kualitas <i>Six Sigma</i> DMAIC	15
2.6.1 Tahap <i>Define</i>	15
2.6.1.1 <i>Critical To Quality</i> (CTQ).....	16
2.6.1.2 Diagram <i>Pareto</i>	16
2.6.2 Tahap <i>Measure</i>	17

2.6.2.1	Kapabilitas Proses	17
2.6.2.2	<i>Defect Per Millions Opportunities</i> (DPMO) dan Level Sigma.....	19
2.6.3	Tahap <i>Analyze</i>	20
2.6.3.1	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	20
2.6.3.2	<i>Fishbone Diagram</i> (Diagram Sebab Akibat)	22
2.6.4	Tahap <i>Improve</i>	24
2.7	<i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	24
2.7.1	Prinsip-Prinsip Penyusunan AHP.....	24
2.7.2	Langkah-Langkah Penyusunan AHP	25
2.8	ISO 5817	27
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Metode Penelitian	29
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.3	Langkah-Langkah Penelitian	29
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Gambaran Umum Perusahaan.....	35
4.1.1	Sejarah Perusahaan.....	35
4.1.2	Visi dan Misi Perusahaan.....	36
4.1.3	Hasil Produk	36
4.1.4	Organisasi dan Manajemen	37
4.1.5	Proses Produksi	38
4.1.6	<i>Flow Process Job Order</i>	42
4.2	Pengumpulan Data	42
4.3	<i>Six Sigma</i>	42
4.3.1	<i>Define</i>	43
4.3.1.1	Objek Penelitian.....	43
4.3.1.2	<i>Critical To Quality</i> (CTQ) Proses <i>Brazing</i>	43
4.3.1.3	Identifikasi Jenis-Jenis Cacat Potensial menggunakan Diagram <i>Pareto</i>	46
4.3.2	<i>Measure</i>	47
4.3.2.1	Menghitung DPMO.....	48
4.3.2.2	Menghitung Level Sigma.....	50

4.3.2.3	Menghitung Kapabilitas Proses.....	50
4.3.3	<i>Analyze</i>	52
4.3.3.1	Analisis FMEA.....	52
4.3.3.2	<i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).....	58
4.3.3.3	Melakukan Konfirmasi Penghitungan RPN.....	61
4.3.3.4	Identifikasi Akar Penyebab Masalah.....	63
4.3.4	<i>Improve</i>	65
4.3.4.1	Rekomendasi Perbaikan	66
4.3.4.2	Analisa Rekomendasi	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		77
DAFTAR LAMPIRAN.....		79

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Jumlah dan Persentase Cacat saat Proses <i>Brazing</i> pada Tahun 2016.....	4
Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 2.2 Langkah Menentukan Kapabilitas Sigma dan DPMO untuk Data Atribut	18
Tabel 2.3 Konversi Nilai <i>Yield</i> ke DPMO	20
Tabel 2.4 Penentuan <i>Rating Severity</i> berdasarkan Kriteria	21
Tabel 2.5 Penentuan <i>Rating Occurrence</i> berdasarkan Kriteria	21
Tabel 2.6 Penentuan <i>Rating Detection</i> berdasarkan Kriteria	22
Tabel 2.7 Skala Penilaian Perbandingan	25
Tabel 2.8 Nilai <i>Index Random</i>	27
Tabel 2.9 Penjabaran Standar dalam ISO 5817	29
Tabel 4.1 Sejarah Perusahaan <i>Heat Exchanger</i> Pandaan	35
Tabel 4.2 <i>Critical To Quality</i> (CTQ) Proses <i>Brazing</i>	43
Tabel 4.3 Jumlah <i>Joint</i> yang Cacat Proses <i>Brazing</i> Tahun 2016	44
Tabel 4.4 Jumlah Cacat Proses <i>Brazing</i> Tahun 2016 Beserta Persentase Kumulatif dari Jenis Cacat	46
Tabel 4.5 Jumlah <i>Joint</i> dan Jumlah Cacat Pipa Retak Setelah Proses <i>Brazing</i> pada Tahun 2016	48
Tabel 4.6 Jumlah <i>Joint</i> dan Jumlah Cacat Pipa Keropos Setelah Proses <i>Brazing</i> pada Tahun 2016	48
Tabel 4.7 Jumlah <i>Joint</i> dan Jumlah Cacat Pipa Lubang Setelah Proses <i>Brazing</i> pada Tahun 2016	49
Tabel 4.8 Rekapitulasi dari Tahap <i>Measure</i>	51
Tabel 4.9 Parameter <i>Rating Severity</i>	53
Tabel 4.10 Parameter <i>Rating Occurrence</i>	54
Tabel 4.11 Parameter <i>Rating Detection</i>	55
Tabel 4.12 Nilai <i>Mode of Failure</i>	55
Tabel 4.13 Hasil Diskusi Bobot Tingkat Kepentingan	59
Tabel 4.14 Matriks Perbandingan Berpasangan	59
Tabel 4.15 Matriks Perbandingan Berpasangan dengan Jumlah	60
Tabel 4.16 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan	60

Tabel 4.17 RPN Terbobot	61
Tabel 4.18 Dimensi Perbaikan Kursi Kerja	68
Tabel 4.19 Rekomendasi SOP (<i>standard Operating Procedure</i>) Pengecekan pada Proses <i>Brazing</i>	70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Pipa <i>coretube</i>	2
Gambar 1.2 <i>Strinblench</i>	2
Gambar 1.3 <i>Header and connection</i>	2
Gambar 1.4 <i>fin</i>	2
Gambar 1.5 Penghubung listrik	3
Gambar 1.6 Data kecacatan proses produksi pada tahun 2016	3
Gambar 2.1 Metodologi <i>six sigma</i>	13
Gambar 2.2 Contoh diagram <i>pareto</i>	16
Gambar 2.3 Diagram sebab-akibat	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	33
Gambar 4.1 Evaporator untuk Sektor Industri	36
Gambar 4.2 <i>Air Cooler</i> jenis GKB-GGKB	37
Gambar 4.3 <i>Dry Cooler</i> jenis GFH Supermarket	37
Gambar 4.4 <i>Condenser</i> jenis GVD <i>Lion City</i>	37
Gambar 4.5 Struktur organisasi perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan	38
Gambar 4.6 Proses <i>coil assembly</i>	39
Gambar 4.7 Proses <i>brazing assembly</i>	39
Gambar 4.8 Proses <i>washing coil</i>	40
Gambar 4.9 Proses <i>testing coil</i>	40
Gambar 4.10 Proses <i>final assembly</i>	41
Gambar 4.11 Proses <i>electrical assembly</i>	41
Gambar 4.12 Proses <i>packing</i>	42
Gambar 4.13 Tata letak fasilitas perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan	42
Gambar 4.14 Cacat retak setelah proses <i>brazing</i>	44
Gambar 4.15 Cacat keropos setelah proses <i>brazing</i>	45
Gambar 4.16 Lubang pada daerah <i>start</i> dan <i>stop</i> di daerah <i>brazing</i>	45
Gambar 4.17 Cacat sambungan las kurang pelelehan	46
Gambar 4.18 Cacat kerusakan mekanis	46
Gambar 4.19 Diagram <i>pareto</i> proses <i>brazing</i>	47
Gambar 4.20 Hierarki penyebab cacat proses <i>brazing</i> potensial	58
Gambar 4.21 <i>Fishbone diagram</i> sambungan cacat	63

Gambar 4.22 Alat sumbat telinga.....	67
Gambar 4.23 Rekomendasi perbaikan kursi kerja.....	69
Gambar 4.24 Kondisi sebelum perbaikan saat operator posisi tidur.....	71
Gambar 4.25 Prediksi kondisi setelah perbaikan saat kondisi operator posisi tidur	71
Gambar 4.26 Kondisi sebelum perbaikan saat operator posisi duduk	72
Gambar 4.27 Prediksi kondisi setelah perbaikan saat kondisi operator posisi duduk.....	72
Gambar 4.28 Kondisi sebelum perbaikan saat operator posisi berdiri.....	72
Gambar 4.29 Prediksi kondisi setelah perbaikan saat kondisi operator posisi berdiri	72

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran Dokumentasi Standar Proses <i>Brazing</i> dari Perusahaan <i>Heat Exchanger</i> Pandaan.....	79

Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Fajri Rahman, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2017, *Analisis Kecacatan Pipa Coretube Proses Brazing Menggunakan Metode Six Sigma dan Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Dosen Pembimbing: Rahmi Yuniarti dan Debrina Puspita Andriani.

Perusahaan *heat exchanger*, Pandaan merupakan perusahaan multinasional yang bergerak dibidang produksi *heat exchanger* serta memiliki anak perusahaan diberbagai belahan dunia. Produk yang dihasilkan diperoleh melalui beberapa proses, yaitu *coil assembly, brazing coil, washing coil, testing coil, final assembly, electrical assembly*, dan *packing*. Proses tersebut tidak terlepas dari cacat, terutama pada proses *brazing*. Permasalahannya yaitu terjadi kecacatan pada proses *brazing* melebihi standar yang ditentukan perusahaan dan belum teridentifikasinya penyebab cacat potensial pada proses *brazing*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis cacat yang terjadi pada proses *brazing* apabila ditinjau berdasarkan ISO 5817, mengetahui penyebab cacat potensial pada proses *brazing*, dan memberikan rekomendasi perbaikan untuk meminimalisir jumlah cacat pada proses produksi *heat exchanger*.

Penelitian ini menggunakan metode *six sigma* dan AHP. Pembahasannya dengan menggunakan *tools* diagram *pareto*, FMEA, *fishbone* diagram. Langkah awal pada penggunaan metode *six sigma* yaitu *Define*, untuk identifikasi CTQ dan identifikasi cacat potensial dengan menggunakan diagram *pareto*. Tahap berikutnya adalah *Measure*, untuk perhitungan kapabilitas proses dengan menghitung DPMO dan level sigma. Tahap berikutnya adalah *Analyze*, untuk identifikasi *failure mode* dan *failure effect* dengan menggunakan FMEA, penentuan bobot kriteria S,O,D dengan menggunakan AHP agar lebih objektif lalu melakukan konfirmasi penghitungan RPN dan analisis akar penyebab masalah dengan *fishbone diagram*. Tahap terakhir dari metode *six sigma* pada penelitian ini adalah *Improve*, untuk memberikan rekomendasi perbaikan dari cacat pada proses *brazing*.

Setelah dilakukan penelitian, diperoleh bahwa jenis cacat berdasarkan ISO 5817 yaitu pipa retak setelah proses *brazing*, pipa keropos setelah proses *brazing*, lubang pada daerah start dan stop di daerah *brazing*, cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa, dan kerusakan mekanis. Selain itu didapat beberapa akar penyebab masalah yaitu faktor metode adalah *checking* terkadang terlewat, faktor manusia adalah operator yang kurang fokus, operator yang kurang terlatih dan kelalaian operator, dari faktor mesin yaitu mesin sulit di *setting* karena di *setting* manual menyesuaikan dengan ketebalan pipa *coretube*, faktor material yang masih belum sesuai berupa logam berminyak, *U-bend* tercampur, logam las kotor, jenis pipa terlalu tipis, dari faktor lingkungan yaitu suhu ruangan yang kurang nyaman, suhu yang panas di daerah perusahaan, ruangan yang terlalu bising. Rekomendasi yang diberikan yaitu diatur SOP baru, alat pelindung telinga untuk operator, memberikan syarat pengalaman kerja atau pelatihan sebelum bekerja, perbaikan kursi kerja, membuat standar berdasar ketebalan pipa *coretube*, adanya operator khusus, memberikan *fan* pada atap ruangan, dan diberikan pembatas ruangan.

Kata Kunci: AHP, *brazing*, cacat produk, *Heat Exchanger*, *Six Sigma*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Fajri Rahman, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in December 2017, *Defect Analysis of Coretube Pipe with Brazing Process Using Six Sigma Method and Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Academic Supervisors: Rahmi Yuniarti and Debrina Puspita Andriani

Heat Exchanger Company Pandaan is a multinational company that has subsidiaries in various parts of the world. The resulting products is obtained through several processes, such as coil assembly, brazing, washing, and testing of coil, final assembly, electrical assembly, and packing. The occurrence of defect in each of the processes, especially brazing, is inevitable. The problem that occur are the number of defects on brazing process is higher than the standart determined by the company and the cause of potential defects on brazing process have not yet identified. Therefore, this research aims to identify the types of defect that occur in brazing process based on ISO 5817, to know the cause of potential defect on brazing process, and to recommend improvement that can minimize defects in heat exchanger production process.

This research used the method of six sigma and AHP. Pareto diagram tools, FMEA, and fishbone diagram were used to analyze datas. The first step in using Six Sigma method is Define, to define CTQ and defining potential defects by using pareto diagram. The next phase is Measure, to calculate process capability by counting DPMO and sigma level. The next phase is Analyze, to identify significant cause in brazing process defect, analyzing potential defects counted before by using FMEA, S,O,D weighted criteria by using AHP in order to make it more objective then confirming it by RPN calculation. Last phase from Six Sigma method in this research is Improve, to give recommendation to improve defects in brazing process.

The result obtained in this study was that defect type, based on ISO 5817, was the pipe cracked and crumbled after brazing process, hole in start and stop area in brazing area, defect in welding process resulting in less han strong joint, and mechanical damage. Besides,some of the core causes of problems were obtained which are; from method factor, the checking method is sometimes missed; from human factor, the operators are less focus, less trained and operator's negligence; from machinery, it is difficult to set the machine because it has to be done manually in accordance with the thickness of core tube pipe; from the material factor, the material is still not appropriate in the form of oily metal, mixed U-bend, dirty welding metal, the type of pipe is too thin; from environmental factor, less than comfortable room temperature, hot temperatures in the company area, and the room is too noisy. Recommendations for those problems are new SOP, ear protection devices for operators, more assertive contract and periodic evaluations, the improvement of work chairs, the establishment of standard based on the thickness of the coretube pipes, to provide particular operators, to provide fans on the roof of the room and supplement for the worker such as milk or green bean porridge or something similar at rest.

Keywords: Brazing Process, Heat Exchanger, Defect, Six Sigma, AHP

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam yang selalu memberikan jalan, kelancaran dalam menyelesaikan penelitian di Perusahaan *heat exchanger*, Pandaan sehingga tidak ada hentinya penulis mengucapkan syukur pada-Nya. Kekuatan dan juga nikmat-Nya telah mengantarkan penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Kecacatan Pipa Coretube Proses Brazing Menggunakan Metode Six Sigma dan Analytical Hierarchy Process (AHP)**”.

Pelaksanaan penelitian serta pengerjaan tugas akhir ini bertujuan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) yang harus dilalui oleh seluruh mahasiswa Universitas Brawijaya. Oleh karena itu, penulis sangat menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari kerjasama dan juga bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak yang secara langsung ataupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan serta membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini:

1. Allah SWT, yang telah memberikan petunjuk, rahmat beserta kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kegiatan penelitian di Perusahaan *Heat Exchanger* Pandaan beserta tugas akhir ini.
2. Orang tua yang selalu saya cintai, Bapak Dudung Abdul Malik dan Ibu Ani Nuraeni atas doa-doa yang tiada henti, beasiswa sedari lahir, target, motivasi beserta dukungan yang secara penuh diberikan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian baik materil ataupun non materil sehingga terselesaikan tugas akhir dan studi di Universitas Brawijaya.
3. Teh Dian dan Mas Adi, Teh Desti dan A Basyir, Ayuni Mukarromah, seluruh keluarga tercinta dan Tyas Evita Sari yang telah banyak memberikan doa, support materil dan non materil serta semangat dalam penyelesaian tugas akhir dan studi di Universitas Brawijaya.
4. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
5. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri, Dosen Pembimbing I dan juga Dosen Pembimbing KKNP atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan motivasi, doa, arahan, masukan, serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis terutama dalam penyelesaian tugas skripsi ini.

6. Ibu Debrina Puspita Andriani, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II dan juga selaku KaLab SRK atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan motivasi, doa, arahan, masukan, ilmu serta pengalaman yang sangat berharga sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Universitas Brawijaya.
7. Bapak Rakhmat Himawan, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas motivasi dan masukan, ilmu serta bimbingan selama masa studi penulis.
8. Bapak dan Ibu dosen Pengajar di Jurusan Teknik Industri yang telah memberikan ilmunya selama perkuliahan kepada penulis.
9. Bapak Luhur, Bapak Tio, Bu pipit, Bapak Jakfar, IE team dan seluruh bagian di Perusahaan *Heat Exchanger* Pandaan atas kesediaannya dalam membimbing, mengarahkan, membantu dan memberi kesempatan bagi penulis dalam melakukan penelitian sehingga terselesaikan tugas akhir ini.
10. Red Team 13 dan seluruh keluarga SRK yang selalu mengingatkan dan memberi semangat sehingga terselesaikan skripsi ini.
11. Keluarga Teknik Industri 2013 yang telah berjuang bersama dan saling memberikan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. FTV (djairan, yogie, Irwan, Inas, mbak safda) serta keluarga DPM UB 2016 dan Core EM (Udin, Ikhsan, Hasna, Aul) serta keluarga EM UB 2017 yang memberikan dukungan, doa dan juga bantuannya agar tugas akhir ini segera selesai.
13. Keluarga KAMMI Brawijaya dan juga seluruh Project UB terkhusus Bani Rahman yang telah membantu doa dan dukungan lainnya.
14. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, mengingat kurangnya pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun guna pengembangan diri menjadi lebih baik. Semoga hasil penelitian dalam tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Januari 2018

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan pendahuluan mengenai latar belakang penelitian, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat yang diperoleh dari penelitian serta hal yang berkaitan dengan penelitian ini meliputi batasan dari masalah dan asumsi yang digunakan pada penelitian ini. Berikut merupakan pemaparan dari pendahuluan penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Persaingan di sektor industri dihadapkan pada tantangan semakin berat sejalan dengan kemajuan era globalisasi baik produk industri jasa ataupun manufaktur. Suatu organisasi bisnis berupa perusahaan dapat mengupayakan agar perusahaan tersebut tumbuh berkembang atau paling tidak dapat bertahan hidup, maka perusahaan tersebut harus mengeluarkan output produk (barang/jasa) yang mutunya lebih terjamin, harga yang lebih murah, tingkat penampilan lebih baik dan pelayanan yang lebih unggul dan lebih dapat dirasakan kelebihanannya oleh konsumen dibanding dengan pesaingnya. Hal tersebut dilakukan untuk memberikan kepuasan kepada konsumen dan dapat meningkatkan kepercayaan konsumen kepada perusahaan.

Kualitas merupakan faktor yang penting bagi konsumen untuk mengambil keputusan dalam menentukan suatu barang / jasa yang ditawarkan oleh perusahaan layak untuk dibeli atau tidak, oleh karena itu kualitas merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan produk di pasar. Definisi kualitas dari segi manufaktur menurut Garvin (2006) adalah barang yang dihasilkan dari produksi sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan (spesifikasi produk). Banyak perusahaan melakukan perbaikan dalam produksi ataupun praktik penjaminan mutu kualitas. Kualitas juga sebagai kunci dalam persaingan di dunia industri, secara strategis dapat menjamin sebagai hal yang memenuhi kebutuhan atau keinginan pelanggan.

Perusahaan yang menjadi objek penelitian ini adalah perusahaan multinasional yang memiliki anak perusahaan di berbagai belahan dunia diantaranya adalah Brazil, Jerman, Hungaria, Meksiko, dan Rusia. Perusahaan ini bergerak dibidang *heat exchanger*. *Heat exchanger* adalah alat yang memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida yang suhunya tinggi menuju fluida yang suhunya rendah ataupun sebaliknya (Sitompul: 1993).

Perusahaan *heat exchanger*, Pandaan saat produksi menggunakan beberapa komponen material. Berikut material yang digunakan:

1. *Pipa coretube*, merupakan pipa yang lurus sebagai tempat pengaliran fluida.



Gambar 1.1 *Pipa coretube*

2. *Strinblench*, merupakan penyangga pipa saat penyambungan dengan *fin* dan dengan *header and connection*.



Gambar 1.2 *Strinblench*

3. *Header and Connection*, merupakan penghubung antara satu pipa dengan pipa yang lain sesuai dengan jalur aliran fluida.



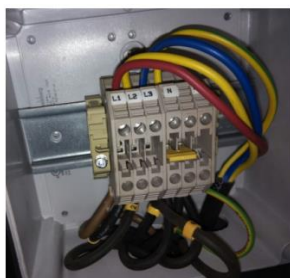
Gambar 1.3 *Header and connection*

4. *Fin*, merupakan bagian menjadi batasan jarak antar pipa agar dapat merubah kalor.



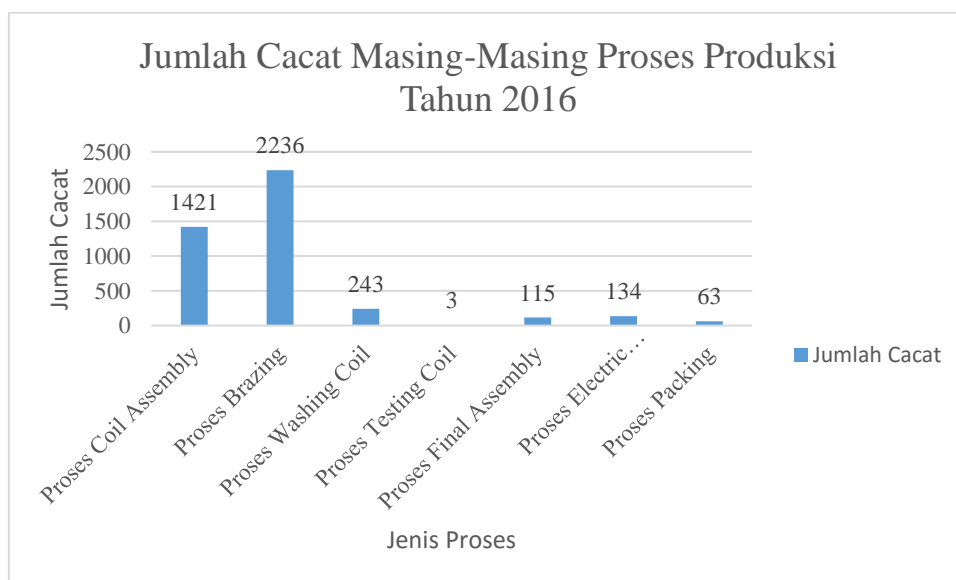
Gambar 1.4 *Fin*

5. Penghubung listrik untuk mengalirkan udara sehingga dapat menghasilkan suhu yang sesuai.



Gambar 1.5 Penghubung listrik

Material tersebut merupakan komponen yang melalui beberapa proses. Dalam proses produksi tidak terlepas dari kecacatan. Berikut ditunjukkan pada Gambar 1.6 adalah urutan proses produksi *heat exchanger* digambarkan dari kiri ke kanan beserta jumlah cacat masing-masing proses yang diambil pada tahun 2016 yang digambarkan dengan diagram batang.



Gambar 1.6 Data kecacatan proses produksi pada tahun 2016

Dilihat dari Gambar 1.1 bahwa proses produksi yang paling sedikit menyebabkan cacat selama prosesnya adalah proses *testing coil* dengan jumlah 3 cacat dalam 1 tahun. Sedangkan jumlah cacat terbanyak menyebabkan cacat yaitu pada proses *brazing* dengan jumlah 2.236 cacat dalam 1 tahun.

Proses *brazing* merupakan tempat berlangsungnya tahapan proses pemasangan *u-bend* sebagai *header* dan penutup dari pipa *coretube* pembuatan produk *heat exchanger* untuk dilanjutkan pada proses berikutnya dengan panas tertentu. Proses tersebut masih menyebabkan permasalahan saat dilakukan *brazing* diantaranya sambungan yang tidak kuat, tidak rapi saat *brazing*, dan cacat lainnya yang masih berada di luar batas kontrol untuk dihilangkan. Tabel 1.1 merupakan data jumlah cacat pada proses *brazing* berdasar pada

jumlah penyambungan setiap komponen *header* dengan pipa *coretube* saat proses *brazing* (*Joint*) yang diambil pada tahun 2016. Berikut jumlah kecacatan tersebut yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1.1

Jumlah dan Persentase Cacat saat Proses *Brazing* pada Tahun 2016

Bulan	Jumlah (<i>joint</i>)	Jumlah (cacat/ <i>joint</i>)	Persentase (cacat/ <i>joint</i>)
Januari 2016	32.242	207	0,642%
Februari 2016	36.324	105	0,289%
Maret 2016	22.332	80	0,358%
April 2016	48.062	312	0,649%
Mei 2016	49.004	318	0,649%
Juni 2016	44.918	211	0,470%
Juli 2016	35.027	154	0,440%
Agustus 2016	31.580	102	0,323%
September 2016	45.824	213	0,465%
Oktober 2016	34.975	145	0,415%
November 2016	44.358	153	0,345%
Desember 2016	42.262	236	0,558%

Sumber: Perusahaan *heat exchanger* Pandaan

Dilihat dari Tabel 1.1, berdasarkan 12 bulan data yang diambil diketahui bahwa setiap *joint* yang dilakukan dalam satu bulan dapat dipastikan terjadi kecacatan sehingga pasti ada proses tambahan untuk *brazing* atau penghalusan untuk mengatasi sambungan yang tidak kuat dan cacat lainnya yang terjadi pada proses tersebut. Standar yang diberikan dari perusahaan adalah maksimal 0,1%, sedangkan sepanjang 2016 tidak ada yang dibawah standar tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai cacat yang ada pada proses tersebut masih terhitung tinggi.

Selama ini cacat yang terjadi masih dianggap sebagai hal yang tidak diperhatikan karena persentase cacat yang menurut perusahaan masih dianggap wajar, sehingga perusahaan masih membiarkan cacat tersebut terjadi dan tidak melakukan analisis perbaikan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Berdasar pada prinsip yang selalu diterapkan di perusahaan yaitu *continuous improvement* (perbaikan terus menerus) dan ISO 5817 yang berkaitan dengan *brazing/ welding* maka perusahaan perlu mengidentifikasi penyebab terjadinya cacat pada proses *brazing*.

Perbaikan kualitas serta perbaikan proses pada sistem produksi yang menyeluruh harus dilakukan jika perusahaan berharap menghasilkan produk yang berkualitas baik dalam waktu yang singkat. Suatu perusahaan disebut berkualitas bila perusahaan tersebut mempunyai sistem produksi yang baik dengan proses terkendali. Perbaikan serta peningkatan kualitas produk yang diharapkan tercapainya tingkat cacat pada proses produksi mendekati *zero defect* dibutuhkan biaya yang tidak sedikit. Melalui pengendalian kualitas (*quality control*) diharapkan bahwa perusahaan dapat meningkatkan efektifitas pengendalian

dalam mencegah terjadinya produk cacat (*defect prevention*), sehingga dapat mengurangi terjadinya pemborosan dalam hal material ataupun tenaga kerja yang tujuannya dapat meningkatkan produktifitas. *Six sigma* adalah pendekatan kualitas terhadap *Total Quality Management* (TQM). *Six sigma* sebagai salah satu metode alternatif dalam prinsip-prinsip pengendalian kualitas yang menjadi terobosan dalam bidang manajemen kualitas (Gasperzs, 2015). *Six sigma* dapat menjadi ukuran kinerja sistem industri yang memungkinkan dilakukannya peningkatan yang luar biasa dengan terobosan strategi yang aktual pada perusahaan. Pencapaian *six sigma* yaitu jika hanya terdapat 3,4 cacat per sejuta kesempatan. Semakin tinggi target *sigma* yang bisa dicapai maka semakin baik kinerja sistem industri.

Dalam upaya untuk terhindar dari segala bentuk cacat hasil proses *brazing* dan menemukan cara yang optimal untuk menghilangkan cacat tersebut, dalam penelitian ini digunakan *tool* dengan konsep “*vital few trivial many*” yaitu diagram *pareto* yang bertujuan untuk pengendalian yang difokuskan terhadap jenis cacat proses *brazing* yang berjumlah besar (*vital few*). Kemudian dilakukan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengetahui akar penyebab cacat potensial yang perlu terselesaikan dahulu dalam bentuk prioritas.

Belakangan ini, metode FMEA merupakan salah satu *tool* yang baik dalam menganalisis penyebab cacat potensial karena metode FMEA merupakan suatu *tool* yang berfokus dalam hal preventif terutama *defect*. Akan tetapi, pada nyatanya FMEA konvensional ini masih memiliki kekurangan. Menurut Pillay dan Wang (2002), hasil kali dari ketiga parameter FMEA atau disebut *Risk Priority Number* (RPN) terkadang memiliki satu nilai, sedangkan kondisi lapangan masih menimbulkan representasi risiko yang berbeda. Sebagai contoh, terdapat dua *failure mode* yang berbeda memiliki nilai 3, 2, 2 dan 1, 3, 4 untuk peringkat *Severity* (S), *Occurrence* (O), *Detection* (D), keduanya memiliki nilai RPN yang sama yaitu 12. Namun, implikasi risiko yang belum diketahui dari dua kejadian tersebut belum tentu memiliki satu nilai. Selain itu, faktor risiko dalam FMEA (S, O, dan D) juga memiliki bobot yang senilai, sedangkan pada kondisi lapangan hal tersebut sering memiliki bobot tersendiri.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, menurut Kamble (2014) pada penelitiannya dilakukan evaluasi faktor risiko S, O, D dengan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Menggunakan metode tersebut memberikan nilai bobot berbeda untuk menampung hal yang tidak pasti dari kepentingan faktor risiko FMEA di perusahaan yang bergerak dibidang *heat exchanger* terhadap mode kecacatan yang terjadi. Sehingga dalam penelitian ini, untuk meningkatkan kinerja FMEA dalam menilai faktor-faktor risiko digunakanlah metode AHP dengan memberikan bobot tersendiri pada faktor risiko S, O, D untuk

mengevaluasi faktor-faktor tersebut. AHP merupakan metode untuk membuat suatu keputusan, yang didesain dan dilakukan dengan membuat penyeleksian terhadap beberapa alternatif yang dievaluasi dengan multikriteria (Saaty, 1992). Kemudian dilakukan identifikasi akar penyebab cacat proses *brazing* setelah mendapatkan nilai RPN dari hasil AHP tersebut dengan *Fishbone* Diagram (Diagram *Ishikawa*). Diagram sebab-akibat menggambarkan simbol-simbol dan garis yang menunjukkan keterkaitan antara penyebab dan akibat dari suatu masalah.

Setelah mendapat hasil dari metode *six sigma* dan AHP, diberikan rekomendasi perbaikan terhadap penyebab cacat proses *brazing* yang paling potensial. Kemudian dilakukan perhitungan ulang dengan memberikan estimasi adanya penerapan terhadap rekomendasi perbaikan yang telah diusulkan menggunakan metode *six sigma* dan AHP. Sehingga dapat diketahui penurunan risiko terjadinya cacat pada akar penyebab cacat proses produksi *heat exchanger* di Perusahaan *heat exchanger* Pandaan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari latar belakang penelitian diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah, yaitu:

1. Terjadi kecacatan pada proses *brazing* melebihi standar yang ditentukan perusahaan.
2. Belum teridentifikasinya penyebab cacat potensial pada proses *brazing*.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari identifikasi masalah yang dijelaskan sebelumnya, maka dirumuskan permasalahan yang diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Jenis cacat apakah yang terjadi pada proses *brazing* apabila ditinjau berdasarkan ISO 5817?
2. Apakah penyebab cacat potensial pada proses *brazing*?
3. Bagaimana rekomendasi perbaikan yang dilakukan untuk meminimalisir jumlah cacat pada proses produksi *heat exchanger*?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari perumusan masalah yang diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis cacat yang terjadi pada proses *brazing* apabila ditinjau berdasarkan ISO 5817.

2. Mengetahui penyebab cacat potensial pada proses *brazing*.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan untuk meminimalisir jumlah cacat pada proses produksi *heat exchanger*.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan faktor biaya.
2. Tahap *six sigma* yang dilakukan hanya pada siklus DMAI (*Define, Measure, Analyze, dan Improve*).
3. Jenis pipa yang digunakan hanya pada pipa *coretube*.

1.6 Asumsi-Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Tidak ada kebijakan yang diubah di perusahaan selama penelitian berlangsung.
2. Tidak ada proses produksi yang berubah selama penelitian berlangsung.

1.7 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Diharapkan dapat memberikan usulan penyelesaian masalah yang sesuai untuk proses produksi *heat exchanger* sehingga dapat mengurangi kecacatan yang seharusnya tidak ada.
2. Sebagai referensi dalam menyelesaikan permasalahan mengenai proses produksi *heat exchanger*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tinjauan pustaka mengenai objek penelitian, landasan teori serta acuan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Referensi tersebut berkaitan dengan kualitas, *six sigma*, diagram *pareto*, *fishbone diagram*, *Failure Mode Effect Analysis*, *Analytic Hierarchy Process* dan referensi lainnya. Bab ini bertujuan untuk membantu penyelesaian permasalahan yang diteliti. Berikut merupakan pemaparan dari tinjauan pustaka penelitian ini.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu merupakan referensi atau sumber yang bertujuan sebagai bahan pertimbangan dan informasi pendukung penelitian yang dilakukan saat ini. Beberapa penelitian terdahulu diantaranya:

1. Mustikarini (2014) menyebutkan tingkat *waste* yang masih ada pada proses produksi buku di PT. Temprina Media Grafika masih dapat menghasilkan 4 *waste*. Tingginya *defect* yang terjadi masih diatas standar prosentase yang telah ditetapkan perusahaan yaitu 3% sehingga perlu dilakukan perbaikan. Pada penelitian tersebut diselesaikan dengan pendekatan *lean six sigma* yang di dalam nya diberikan analisis dan penyelesaian dari permasalahan tersebut dengan menggunakan metode FMEA dan AHP sebagai alat yang digunakan untuk menganalisa dan memberikan rekomendasi atas permasalahan di perusahaan.
2. Pugna et all (2015) menerapkan berpikir statistik dan metodologi DMAIC *Six sigma* untuk proses *riveting*, menjelaskan tentang desain alat rivet ditingkatkan memungkinkan penanganan halus, perangkat poka-yoke dipasang sinyal akustik dan visual ketika down diperlukan peningkatan, kemampuan proses *riveting* secara substansial ditingkatkan pada jangka pendek dan panjang, cpk meningkat 0,96-1,72, sigma tingkat jangka pendek meningkat 2,9-5,2, sigma tingkat jangka panjang meningkat 1,4-3,7, DPMO berkurang dari 81.000 ke 108, memperbaiki proses *riveting* menyebabkan $\approx 40\%$ pengurangan cacat, memilih pemasok yang paling sesuai menyebabkan $\approx 30\%$ pengurangan cacat.
3. Alhuraish et all (2016) melakukan pengujian *lean manufacture* dan *six sigma* dengan menggunakan AHP. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa ketika sebuah

perusahaan mengimplementasikan baik *lean manufacturing* saja atau *lean manufacturing* dan *six sigma*, perusahaan dapat mengharapkan hasil paralel dalam kinerja inovasi. Makalah ini juga menunjukkan perusahaan yang mengimplementasikan *lean manufacturing* saja atau *lean manufacturing* dan *six sigma* relatif lemah. Model AHP digunakan untuk menentukan metodologi yang paling efisien dalam berbagai industri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mobil, jasa dan industri elektronik mencapai hasil kinerja yang signifikan lebih tinggi.

4. Syamsiar (2016) melakukan pengendalian kualitas terhadap jumlah kantong sobek dan bobot semen per sak baik yang keluar dari batas yang ditentukan sehingga dapat meningkatkan efisiensi bagi perusahaan baik dari segi waktu maupun biaya. Penelitian tersebut terfokus pada *plan 4 packer* pabrik Tuban yang berdiri tahun 2013. Menggunakan FMEA, Maintenance sebagai alat untuk menganalisa kedua permasalahan yang ada dan memberikan saran untuk perusahaan.

Penelitian ini dilakukan pada bagian proses *brazing* perusahaan *heat exchanger* Pandaan dimana terdapat *defect output* yang menyebabkan tingginya jumlah output yang harus didaur ulang kembali maupun di-*reject*. Kemudian digunakan diagram *pareto* untuk mengetahui jenis *defect output* yang paling berpengaruh berdasarkan jumlah *output* yang terbesar. Kemudian diurutkan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Dari hasil perhitungan FMEA dan AHP diperoleh nilai RPN yang paling tinggi lalu diidentifikasi akar penyebab terjadinya kegagalan tersebut menggunakan metode *Fishbone Diagram* dipilih kegagalan proses yang paling potensial dalam menyebabkan *defect output* untuk dianalisis dan diberi rekomendasi perbaikan. Sehingga, didapatkan penurunan risiko cacat dari akar penyebab proses *brazing* potensial menggunakan metode *Six sigma* dan AHP. Agar lebih mudah, dapat dilihat pada Tabel 2.1 yaitu tabel perbandingan penelitian pendahuluan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2.1

Perbandingan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Objek	Metode	Hasil Penelitian
Mustikarini (2014)	PT. Temprina Media Grafika	- <i>Six sigma</i> - AHP	Diperoleh hasil rekomendasi untuk masing-masing jenis <i>waste</i> di proses produksi buku yaitu penyesuaian SDM, mencari alternative supplier lain dan Perawatan Mesin.
Pugna et all (2015)	<i>Assembly process in an automotive company in Romania</i>	<i>Six sigma</i>	Diperoleh hasil kemampuan peningkatan proses <i>riveting</i> secara substansial pada jangka pendek dan panjang. Sigma Tingkat jangka panjang meningkat 1,4-3,7, DPMO berkurang dari 81.000 ke 108, memperbaiki proses <i>riveting</i> menyebabkan $\approx 40\%$ pengurangan cacat.

Peneliti	Objek	Metode	Hasil Penelitian
Alhuraish et al (2016)	<i>On lean manufacturing and six sigma implementation within French industries</i>	- Lean Manufacturing - Six sigma - AHP	Diperoleh hasil ketika sebuah perusahaan mengimplementasikan baik lean manufacturing saja atau lean manufacturing dan <i>six sigma</i> , perusahaan dapat mengharapkan hasil paralel dalam kinerja inovasi. Model AHP digunakan untuk menentukan metodologi yang paling efisien dalam berbagai industri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mobil, jasa dan industri elektronik mencapai hasil kinerja yang signifikan ditingkatkan.
Syamsiar (2016)	PT. Semen Indonesia	<i>Six sigma</i>	Diperoleh hasil <i>Critical to Quality</i> (CTQ), <i>Defect per Million Opportunities</i> (DPMO), Penyebab paling signifikan terhadap kerusakan kantong dan <i>over/under weight</i> semen per zak, saran perbaikan untuk meningkatkan kualitas proses <i>packaging</i> .
Penelitian Ini	Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan	- Six sigma - AHP	Diperoleh hasil penyebab cacat potensial dari proses <i>brazing</i> yang perlu menjadi prioritas terlebih dahulu untuk dilakukan perbaikan adalah operator kelelahan dalam menyelesaikan tugasnya. Kemudian operator kurang terlatih dan kurang pengalaman, <i>checking</i> yang terkadang terlewat, operator kurang fokus, mesin yang sudah masuk waktu perbaikan, material yang kurang sesuai dan faktor lingkungan.

2.2 Definisi Kualitas

Kualitas yang dilihat dari sudut pandang produksi dapat diartikan sebagai hasil yang diinginkan dari proses operasi, atau dapat disebut kesesuaian terhadap spesifikasi, seperti yang dijelaskan Evans (2007). Spesifikasi adalah target dan tingkat toleransi yang ditetapkan oleh desainer produk. Kesesuaian terhadap spesifikasi merupakan kunci definisi kualitas. Sehingga produk yang tidak sesuai spesifikasi disebut cacat.

2.3 Waste Defect

Menurut Larry Webber (2007) dan Ali Birjandi (2008) *Waste* dapat didefinisikan sebagai hal-hal yang tidak berguna, tidak ada nilai tambah, tidak bermanfaat, bahkan bisa berupa pemborosan. Berkaitan tentang produksi, *waste* merupakan hal-hal yang menggunakan material atau *resource* lainnya yang tidak sesuai dengan standar. Salah satu jenis *waste* adalah *defect*.

Defect merupakan kecacatan kualitas yang terjadi saat proses maupun produk akhir yang menghambat pengiriman produk. Selain itu, dibutuhkan usaha dan biaya tambahan untuk penyelesaian produk cacat seperti *rework* dan *reject*. Diperlukan proses tambahan dalam upaya untuk mengembalikan nilai dari produk yang cacat tersebut. Bentuk *defects* dapat

berupa produk yang tidak lolos standar kualitas ataupun desain produk maupun formula yang tidak tepat. *Defects* dapat mengakibatkan hal-hal sebagai berikut:

1. *Adds costs*.
2. Mengganggu jadwal produksi.
3. Pemakaian *resource* yang tidak semestinya (tidak efisien).
4. Menimbulkan *rework* (tidak efisien).

2.4 Pengendalian Kualitas

Pada bagian ini dibahas mengenai pengertian, tujuan dan perspektif dari pengendalian kualitas.

2.4.1 Pengertian Pengendalian Kualitas

Kualitas secara umum dapat diartikan dengan membuat produk atau jasa yang tepat waktu, pantas digunakan dalam lingkungan, memiliki *zero defect* dan memuaskan konsumen (Yamit, 2005). Pengendalian kualitas dapat diartikan sebagai alat bagi manajemen untuk memperbaiki kualitas produk, mempertahankan kualitas yang sudah tinggi dan mengurangi jumlah bahan yang rusak (reksohadiprojo, 2000). Sehingga dapat disimpulkan pengendalian kualitas sebagai sistem yang digunakan untuk menjaga kualitas barang atau jasa agar berada pada tingkat kualitas yang diharapkan.

2.4.2 Tujuan Pengendalian Kualitas

Assauri (2004), terdapat beberapa tujuan dari pengendalian kualitas yaitu:

1. Agar barang hasil produksi mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan.
2. Mengusahakan agar biaya inspeksi sekecil mungkin.
3. Mengusahakan agar biaya desain dari produk serta proses dengan menggunakan kualitas produksi tertentu sekecil mungkin.
4. Mengusahakan agar biaya produksi serendah mungkin.

2.4.3 Perspektif Pengendalian Kualitas

Garvin (2006), mengidentifikasi adanya 5 alternatif perspektif kualitas yang biasa digunakan yaitu:

1. *Transcendental Approach*

Kualitas dalam pendekatan ini dapat dirasakan atau diketahui, tetapi sulit untuk diartikan serta dioperasikan. Sudut pandang ini biasanya digunakan dalam seni music,

drama, seni tari, dan seni rupa.

2. *Product – Based Approach*

Kualitas dalam pendekatan ini menganggap kualitas sebagai karakteristik atau atribut yang dapat dikuantifikasikan serta dapat diukur. Pandangan ini sangat objektif, maka tidak dapat menjelaskan perbedaan dalam selera, kebutuhan, dan preferensi individual.

3. *User-based Approach*

Kualitas dalam pendekatan ini didasarkan pada pemikiran bahwa kualitas bergantung pada orang yang memandangnya, dan produk yang paling memuaskan preferensi seseorang merupakan produk yang berkualitas tinggi.

4. *Manufacturing-based Approach*

Kualitas dalam pendekatan ini bersifat supply-based dan terutama memperhatikan praktik-praktik *engineering* dan *manufacturing* serta membuat definisi kualitas sesuai dengan persyaratannya.

5. *Value-based Approach*

Kualitas dalam pendekatan ini memandang kualitas dari segi nilai dan harga, dengan mempertimbangkan *trade-off* antara kinerja dengan harga. Sehingga kualitas didefinisikan sebagai “*Affordable Excellence*”.

2.5 Six Sigma

Six sigma merupakan suatu alat manajemen baru yang digunakan untuk mengganti konsep *Total Quality Management* (TQM), terfokus terhadap pengendalian kualitas dengan mendalami sistem produksi perusahaan secara keseluruhan. *Six sigma* diartikan sebagai metode peningkatan proses bisnis yang bertujuan untuk menemukan serta mengurangi faktor-faktor penyebab kecacatan dan kesalahan, mengurangi waktu siklus dan biaya operasi, meningkatkan produktifitas, memenuhi kebutuhan pelanggan dengan lebih baik, demi tercapainya tingkat penggunaan *asset* yang lebih tinggi, sehingga mendapatkan hasil investasi yang lebih tinggi dari segi produksi dan pelayanan (Evans, 2007). *Six sigma* adalah suatu visi upaya peningkatan kualitas menuju target 3,4 cacat per sejuta kesempatan untuk setiap transaksi produk barang dan jasa (Gaspersz: 2015).



Gambar 2.1 Metodologi six sigma

Sumber: Gaspersz (2015)

Six sigma dijadikan sebagai alat ukur untuk menciptakan metode atau strategi yang tepat dalam proses transaksi antara pihak produsen dan konsumen. *Six sigma* juga menerapkan strategi efektif sebagai terobosan dalam perusahaan yang memungkinkan untuk memajukan perusahaan tersebut dan meningkatkan tingkat produktivitasnya (Gaspersz, 2015). Metode ini digunakan berdasarkan sebuah metodologi penyelesaian masalah yang sederhana DMAIC yang merupakan singkatan dari *Define* (merumuskan), *Measure* (mengukur), *Analyze* (menganalisa), *Improve* (meningkatkan atau memperbaiki), dan *Control* (mengendalikan) yang menggabungkan berbagai macam perangkat statistik serta pendekatannya yang digunakan untuk memperbaiki proses selanjutnya.

2.5.1 Aspek *Six Sigma*

Terdapat enam aspek kunci yang harus diperhatikan ketika menggunakan konsep *six sigma* (Gaspersz, 2015) yaitu:

1. Identifikasi pelanggan.
2. Identifikasi produk.
3. Identifikasi kebutuhan dalam memproduksi produk untuk pelanggan.
4. Definisi proses.
5. Menghindari kesalahan dalam proses dan menghilangkan semua pemborosan yang ada.
6. Tingkatkan proses secara terus-menerus menuju target *six sigma*.

2.5.2 Manfaat *Six Sigma*

Ada beberapa manfaat *six sigma* bagi perusahaan (Pande et al, 2000)

1. Menghasilkan sukses berkelanjutan
 Cara untuk melanjutkan pertumbuhan dan tetap menguasai pertumbuhan pasar yang aman adalah terus-menerus berinovasi. *Six sigma* merupakan upaya untuk melakukan perbaikan secara terus-menerus (*continuous improvement*).
2. Mengatur tujuan bagi setiap orang
 Dalam sebuah perusahaan, setiap orang bekerja dengan memiliki satu tujuan. *Six sigma* merupakan alat untuk menciptakan sebuah tujuan yang konsisten yaitu kesempurnaan 99,9997 % atau 3,4 cacat dalam sejuta peluang.
3. Memperkuat nilai pada pelanggan
 Dengan persaingan yang ketat pada dunia industri, hanya produk yang memiliki kualitas terbaik yang dapat diterima oleh pelanggan. Fokus pada pelanggan adalah inti dari *six sigma* dengan mempelajari nilai yang diinginkan oleh pelanggan terhadap

produk.

4. Mempercepat tingkat perbaikan

Perusahaan yang mampu melakukan perbaikan dengan cepat dapat memenangkan persaingan di pasar. Sehingga *six sigma* dapat membantu perusahaan untuk tidak hanya meningkatkan kinerjanya, tetapi juga meningkatkan perbaikan.

5. Mempromosikan pembelajaran dan “*cross pollination*”

Six sigma merupakan sebuah pendekatan yang dapat meningkatkan dan mempercepat pengembangan dan penyebaran ide-ide baru dalam sebuah organisasi. Orang-orang yang terlatih dengan keahlian dalam banyak proses serta kemampuan dalam mengelola dan memperbaiki proses dapat dipindahkan ke divisi lain dengan kemampuan untuk menerapkan proses dengan lebih cepat. Ide-ide mereka dibagikan sehingga kinerja mudah untuk dibandingkan.

6. Melakukan perubahan strategi

Dengan lebih memahami proses dan prosedur perusahaan akan memberikan kemampuan yang lebih besar untuk melakukan penyesuaian-penyesuaian kecil maupun perubahan-perubahan besar yang dituntut oleh proses bisnis.

2.6 Tahap-Tahap Pengendalian Kualitas *Six Sigma* DMAIC

Dalam konsep *six sigma*, terdapat beberapa model yang bisa diterapkan untuk meminimasi tingkat kecacatan, salah satu konsep yang paling sering digunakan adalah DMAIC. Konsep ini, merupakan proses untuk melakukan peningkatan secara terus menerus menuju target *six sigma*. Berikut dijelaskan mengenai tahapan-tahapan DMAIC.

2.6.1 Tahap *Define*

Tahap *define* berkaitan dengan pendefinisian tujuan dan latar belakang serta mengidentifikasi permasalahan yang harus diberikan perhatian untuk dapat mencapai performa mutu yang lebih baik. Pada tahap ini perlu untuk mengidentifikasi beberapa hal yang terkait dengan *define* antara lain (Gasperz, 2002):

1. Kriteria pemilihan proyek *six sigma*.
2. Peran dan tanggung jawab dari orang-orang yang terlibat dalam proyek *six sigma*.
3. Kebutuhan pelatihan untuk orang-orang yang terlibat dalam proyek *six sigma*.
4. Proses-proses kunci dalam proyek *six sigma*.
5. Kebutuhan spesifik dari pelanggan.
6. Persyaratan tujuan proyek *six sigma*.

2.6.1.1 Critical To Quality (CTQ)

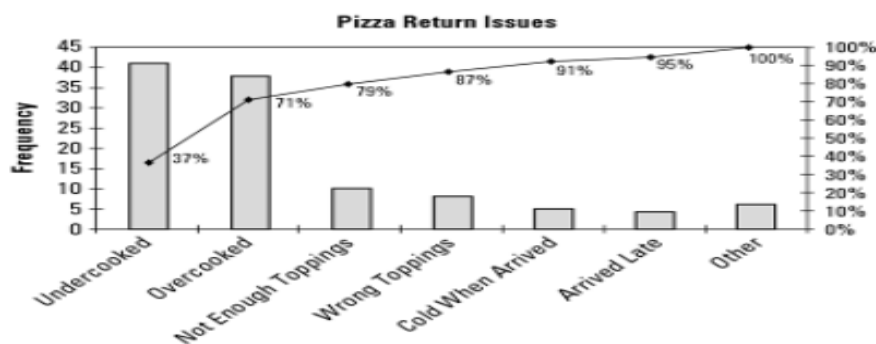
Menurut Gaspersz (2002) *Critical to Quality* (CTQ) adalah terminologi *Six sigma*, dimana kriteria karakteristik kualitas yang menimbulkan dan atau memiliki potensi untuk menimbulkan kecacatan atau kecacatan itu sendiri. Sebelum suatu produk dapat dinyatakan sebagai cacat atau gagal, maka kriteria yang berkaitan dengan kecacatan atau kecacatan harus didefinisikan terlebih dahulu.

2.6.1.2 Diagram Pareto

Diagram *pareto* merupakan diagram yang terdiri atas grafik balok dan grafik garis yang menggambarkan perbandingan masing-masing jenis data terhadap keseluruhan. Dalam diagram *pareto* dikenal istilah “VITAL FEW – TRIVIAL MANY” (pembagian 80:20), yang artinya sedikit tapi vital atau sangat penting, banyak tetapi kurang vital atau hasilnya kurang penting (sedikit). Hal ini sesuai dengan kejadian sehari-hari yang menunjukkan, bahwa dalam banyak hal, permasalahan atau kerugian yang besar biasanya disebabkan oleh hal-hal yang jumlahnya sedikit. Dengan demikian, timbul pemahaman, lebih baik mengerjakan yang sedikit tetapi bermanfaat besar daripada mengerjakan banyak hal tapi hasilnya sedikit (Kuswadi, 2004).

Tipe diagram *pareto* yang menunjukkan akibat suatu masalah salah satunya tentang kualitas, seperti jumlah kerusakan, cacat, kesalahan dll. Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan diagram *pareto* menurut Kuswandi (2004).

1. Menentukan hal-hal apa yang akan diteliti dan cara untuk mengumpulkan data.
2. Pengolahan data
 - a. Urutkan data dari yang terbesar.
 - b. Kumulatifkan data.
 - c. Lakukan persentase kumulatif.



Gambar 2.2 Contoh diagram *pareto*
Sumber: Webber (2007)

2.6.2 Tahap *Measure*

Tahap *Measure* berkaitan dengan pengumpulan informasi mengenai kondisi saat ini dan melakukan pengukuran atau studi kemampuan proses yang ada saat ini. Hasil pengukuran menghasilkan nilai matriks yang menunjukkan kemampuan proses saat ini dan dijadikan sebuah tolak ukur perusahaan dalam melakukan tindakan perbaikan.

Terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan dalam tahap *measure* (Gasperz, 2002) yaitu:

1. Memilih atau menentukan karakteristik kualitas (CTQ) kunci yang berhubungan langsung dengan kebutuhan spesifik dari pelanggan.
2. Mengembangkan suatu rencana pengumpulan data melalui pengukuran yang dapat dilakukan pada tingkat proses, *output*, dan *outcome*.
3. Mengukur performa sekarang (*current performance*) pada tingkat proses *output*, dan *outcomes* untuk ditetapkan sebagai *baseline* performa (*performance baseline*) pada awal proyek *six sigma*.

Pada tahap *measure* juga dilakukan perhitungan Analisa Kapabilitas Proses (AKP) untuk data atribut. Analisa Kapabilitas Proses (AKP) dengan data atribut seperti cacat, produk dapat dihitung dengan menggunakan DPMO dan dapat dikonversikan menjadi level sigma (Montgomery, 2009).

2.6.2.1 Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan kemampuan proses untuk memproduksi atau menyerahkan output sesuai dengan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan. Kapabilitas proses merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan apakah proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan (Gaspersz, 2002).

Keberhasilan implementasi program peningkatan kualitas *six sigma* ditunjukkan dengan peningkatan kapabilitas proses dalam menghasilkan produk menuju tingkat kegagalan nol (*zero defect*). Teknik untuk menentukan kapabilitas proses yang berhubungan dengan CTQ memiliki perbedaan untuk data atribut dan data variabel. Data adalah catatan tentang segala sesuatu, baik yang bersifat kualitatif dan kuantitatif yang diperfunakan sebagai petunjuk untuk melakukan tindakan. Membahas konteks pengendalian proses statistika dikenal dengan dua jenis data (Gaspersz, 2002), yaitu:

1. Data Atribut, merupakan data kualitatif yang dihitung dengan menggunakan daftar pencacahan atau *tally* untuk keperluan pencatatan atau analisis. Data atribut bersifat

diskrit. Suatu catatan yang hanya merupakan suatu catatan atau klasifikasi yang berkaitan dengan sekumpulan persyarata yang telah ditetapkan. Contoh data atribut karakteristik kualitas adalah ketiadaan label pada kemasan produk, kesalahan proses administrasi buku tabungan nasabah, banyaknya jenis cacat pada produk, banyaknya produk kayu lapis yang cacat. Data atribut biasanya diperoleh dalam bentuk unit-unit ketidak sesuaian atau cacat atau kecacatan terhadap spesifikasi kualitas yang telah ditetapkan. Gasperz (2002) menyebutkan bahwa terdapat langkah-langkah untuk menghitung kapabilitas sigma serta DPMO data atribut. Berikut akan dijelaskan pada Tabel 2.2 tentang langkah penghitungan kapabilitas sigma dan DPMO untuk data atribut.

Tabel 2.2

Langkah Menentukan Kapabilitas Sigma dan DPMO untuk Data Atribut

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Apa proses yang ingin diketahui kualitasnya?	-
2	Berapa jumlah produk yang diperiksa?	-
3	Berapa jumlah unit yang <i>defect</i> ?	-
4	Menghitung tingkat <i>defect</i> berdasarkan langkah 3	= (Langkah 3) / (Langkah 2)
5	Menentukan CTQ potensial yang dapat mengakibatkan <i>defect</i>	= banyaknya karakteristik CTQ
6	Menghitung peluang tingkat <i>defect</i> per karakteristik CTQ	= (Langkah 4) / (Langkah 5)
7	Menghitung kemungkinan <i>Defect Per Million Opportunities</i> (DPMO)	= (Langkah 6) x 1.000.000
8	Konversi DPMO (langkah 7) ke nilai sigma (berdasarkan tabel konversi DPMO ke nilai sigma)	-
9	Membuat kesimpulan	-

Sumber: Gasperz (2002)

Perhitungan kapabilitas proses (C_p) dilakukan untuk mengetahui proses saat ini apakah bisa dianggap mampu atau tidak. Perhitungan dapat menggunakan rumus (Park, 2003) untuk data atribut dengan persamaan (2-1):

$$C_p = \frac{\text{Level Sigma}}{3} \quad (2-1)$$

Sumber: Park (2003)

Menurut Gasperz (2002), kriteria pengukuran kapabilitas proses dalam program peningkatan kualitas *six sigma* adalah sebagai berikut:

- $C_p \geq 2$, maka proses dianggap mampu dan kompetitif (perusahaan kelas dunia).
- C_p antara 1.00-1.99, maka proses dianggap cukup mampu, namun perlu upaya giat untuk peningkatan kualitas menuju target perusahaan kelas dunia yang memiliki tingkat kegagalan sangat kecil yang mendekati *zero defect*. Perusahaan dengan nilai C_p 1.00-

- 1.99 memiliki kesempatan terbaik melakukan program peningkatan kualitas *six sigma*.
- c. $C_p < 1$ maka proses dianggap tidak mampu dan belum kompetitif untuk bersaing di pasar global.
2. Data variabel, merupakan data kuantitatif yang diukur menggunakan alat pengukur tertentu untuk keperluan pencatatan dan analisis. Data variabel bersifat kontinu. Jika suatu kecatatan dibuat berdasarkan keadaan aktual, diukur secara langsung, maka karakteristik kualitas yang diukur itu disebut sebagai variabel. Contoh data variabel karakteristik kualitas adalah diameter pipa, ketebalan untuk melakukan suatu proses, ukuran-ukuran berat, panjang, tinggi, diameter, waktu dan volume merupakan data variabel.

2.6.2.2 Defect Per Millions Opportunities (DPMO) dan Level Sigma

DPMO mengindikasikan berapa banyak cacat yang berpotensi muncul jika sebuah aktifitas diulang sebanyak satu juta kali. DPMO juga menggambarkan secara sederhana mutu dan kapabilitas dari sebuah proses. *Level Sigma* dari proses produksi sering diekspresikan dalam kesalahan per satu-juta peluang. Berikut merupakan persamaan atau rumus untuk menghitung DPMO untuk data atribut

$$DPO = \frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa}} \quad (2-2)$$

Sumber: Gasperz (2002)

$$DPMO = \left(\frac{\text{Total Kerusakan}}{\text{Banyaknya unit yang diperiksa} \times \text{CTQ potensial}} \right) \times 1.000.000 \quad (2-3)$$

Sumber: Gasperz (2002)

Nilai level sigma berdasarkan konsep dari Motorola dapat diperoleh dari tabel nilai konversi DPMO ke nilai sigma atau dapat dihitung dengan menggunakan program *Microsoft Excel*. Berikut merupakan perhitungan nilai sigma berdasarkan *Ms. Excel*:

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000}\right) + 1,5 \quad (2-4)$$

Sumber: Gasperz (2002)

Pada dasarnya pelanggan merasa puas ketika produk/jasa yang mereka terima sesuai dengan nilai yang mereka harapkan. Apabila produk diproses pada tingkat kualitas *Six sigma* maka perusahaan bisa menghasilkan 3,4 kecacatan per sejuta kesempatan atau menghasilkan bahwa 99,9997% dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk tersebut. Konversi *yield* ke DPMO dan nilai *sigma* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.3
Konversi Nilai *Yield* ke DPMO

Yeild (probabilitas tanpa cacat)	DPMO (defect per million opportunity)	Nilai sigma
30,9%	690.000	1
62,9%	308.000	2
93,3%	66.800	3
99,4%	6210	4
99,98%	320	5
99,9997%	3,4	6

Sumber: Gaspersz (2002)

Ukuran sigma atau level sigma adalah variabel yang paling penting dalam metode *six sigma*, Karena variabel ini mengindikasikan variabelitas proses dan sampai level berapa *sigma* proses yang harus dikelola. Ukuran ini juga mengindikasikan apakah proses saat ini sudah efisien dan berkualitas atau belum.

2.6.3 Tahap *Analyze*

Tahap *analyze* merupakan tahapan dimana peneliti mencari dan menemukan penyebab dari permasalahan dengan menggunakan alat analisis yang sesuai. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mengerti lebih jauh tentang proses dan mengidentifikasi alternatif solusi yang dilakukan untuk memperbaikinya. Beberapa hal yang perlu dilakukan pada tahapan ini antara lain (Gasperz, 2002):

1. Menentukan stabilitas (*stability*) dan kapabilitas/kemampuan (*capability*) dari suatu proses.
2. Menetapkan target-target performa dari karakteristik kunci (CTQ) yang akan ditingkatkan dalam proyek *six sigma*.
3. Mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab kecacatan atau kecacatan.
4. Mengkonversikan banyak kecacatan ke dalam biaya kecacatan kualitas (*Cost of Poor Quality*).

2.6.3.1 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

FMEA adalah sebuah proses yang sistematis untuk mengidentifikasi potensi kecacatan yang timbul dalam proses dengan tujuan untuk mengeliminasi atau meminimalkan risiko kecacatan produksi yang akan timbul. Penerapan FMEA dapat digunakan pada semua bidang, baik manufaktur maupun jasa. Tujuan utama dari penerapan FMEA di bidang manufaktur adalah untuk menemukan dan memperbaiki permasalahan utama yang terjadi pada setiap tahapan dari desain dan proses produksi sehingga berjalan optimal ataupun untuk

mencegah produk yang tidak baik sampai ke tangan pelanggan, yang dapat membahayakan reputasi perusahaan (Dyadem, 2003).

1. Tingkat Keparahan (*Severity* (S))

Penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan potensial, atau merupakan sebuah penilaian yang menggambarkan tingkat keseriusan dari dampak potensial kegagalan yang mungkin terjadi.

Tabel 2.4

Penentuan *Rating Severity* berdasarkan Kriteria

Rating	Kriteria
1	<i>Negligible Severity</i> (pengaruh buruk yang dapat diabaikan). Kita tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kualitas produk. Konsumen mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan ini.
2	<i>Mild Severity</i> (pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang ditimbulkan akan bersifat ringan, konsumen tidak akan merasa adanya penurunan kualitas.
3	
4	<i>Moderate Severity</i> (pengaruh buruk yang moderate). Konsumen akan merasakan penurunan kualitas, namun masih dalam batas toleransi.
5	
6	
7	<i>High Severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Konsumen akan merasakan penurunan kualitas yang berada diluar batas toleransi.
8	
9	<i>Potential Severity</i> (pengaruh buruk yang sangat tinggi). Akibat yang ditimbulkan sangat berpengaruh terhadap kualitas lain, konsumen tidak akan menerimanya.
10	

Sumber: Gasperz (2015)

2. Penyebab Potensial (*Potential Causes*)

Merupakan bagaimana kegagalan tersebut bisa terjadi. Dideskripsikan sebagai sesuatu yang dapat diperbaiki.

3. Keterjadian (*Occurrence* (O))

Berdasarkan tingkat *occurrence* dapat diketahui kemungkinan terdapatnya kerusakan dan tingkat keseringan terjadinya kerusakan, dimana sebuah penilaian dari kemungkinan penyebab tertentu yang terjadi dan mempunyai dampak pada poinn kegagalan selama proses operasi/produksi berlangsung.

Tabel 2.5

Penentuan *Rating Occurrence* berdasarkan Kriteria

Degree	Berdasarkan Frekuensi Kejadian	Rating
Remote	0,01 per 1.000 item	1
	0,1 per 1.000 item	2
Low	0,5 per 1.000 item	3
	1 per 1.000 item	4
	2 per 1.000 item	5
Moderate	5 per 1.000 item	6
	10 per 1.000 item	7
	20 per 1.000 item	8
High	50 per 1.000 item	9
	100 per 1.000 item	10

Sumber: Gasperz (2015)

4. Deteksi (*Detection* (D))

Merupakan penilaian dari kemungkinan alat tersebut dapat mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu kegagalan, dimana alat control saat ini (baik dalam nilai desain maupun proses) yang akan mendeteksi penyebab dari potensial kegagalan atau kegagalan itu sendiri, dalam hal melakukan pencegahan untuk memperoleh produk yang diinginkan oleh konsumen.

Tabel 2.6

Penentuan *Rating Detection* berdasarkan Kriteria

Rating	Kriteria	Berdasarkan Frekuensi Kejadian
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul.	0,01 per 1.000 item
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah.	0,1 per 1.000 item
3		0,5 per 1.000 item
4	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat moderat. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi	1 per 1.000 item
5		2 per 1.000 item
6		5 per 1.000 item
7	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif. Penyebab masih berulang kembali.	10 per 1.000 item
8		20 per 1.000 item
9	Kemungkinan penyebab terjadi masih sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab masih berulang kembali	50 per 1.000 item
10		100 per 1.000 item

Sumber: Gasperz (2015)

5. Risk Priority Number (RPN)

Indikator tingkat kritis dalam menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan mode kecacatan. Besarnya RPN suatu kecacatan mampu ditentukan tingkat prioritas pembenahan suatu moda kecacatan.

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection$$

(2-5)

Dalam melakukan FMEA, maka dilakukan beberapa tahapan berikut

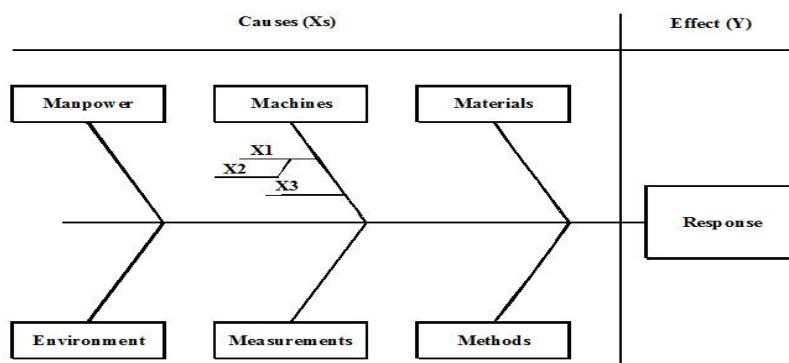
1. Menentukan input yang berpotensi *error*.
2. Menentukan *severity* untuk setiap faktor.
3. Menentukan *occurance* level untuk setiap faktor.
4. Menentukan *detection* level untuk setiap faktor.
5. Menghitung RPN.
6. Menentukan saran perbaikan.

Prediksikan RPN setelah saran dilakukan.

2.6.3.2 Fishbone Diagram (Diagram Sebab Akibat)

Diagram sebab-akibat dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1943, sehingga disebut dengan diagram ishikawa. Diagram sebab-akibat menggambarkan garis dan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab dari suatu masalah. Manfaat diagram sebab akibat diantaranya (Ariani, 2004):

1. Dapat menggunakan kondisi sesungguhnya untuk tujuan perbaikan kualitas produk atau jasa, lebih efisien dalam penggunaan sumberdaya, dan dapat mengurangi biaya.
2. Dapat mengurangi dan menghasilkan kondisi yang menyebabkan ketidaksesuaian produk atau jasa dan keluhan pelanggan.
3. Dapat membuat suatu standarisasi operasi yang ada maupun direncanakan.
4. Dapat memberikan pendidikan dan pelatihan bagi karyawan dalam kegiatan pembuatan keputusan dan melakukan tindakan perbaikan.



Gambar 2.3 Diagram sebab-akibat
Sumber: Breyfogle (2003)

Sumber penyebab permasalahan kualitas yang ditemukan berdasarkan prinsip 7 M, yaitu: (Gasperz, 2015)

1. *Manpower* (tenaga kerja), yaitu berkaitan dengan kekurangan dalam pengetahuan, kekurangan dalam ketrampilan dasar akibat yang berkaitan dengan mental dan fisik, kelelahan, stres, ketidakpedulian, dll.
2. *Machines* (mesin) dan peralatan, yaitu berkaitan dengan tidak ada sistem perawatan preventif terhadap mesin produksi yang digunakan, juga termasuk fasilitas dan peralatan lain yang tidak sesuai dengan spesifikasi tugas yang dilakukan, tidak adanya proses kalibrasi, terlalu *complicated*, serta mesin/peralatan terlalu panas, dll.
3. *Methods* (metode kerja), yaitu berkaitan dengan tidak adanya/ tidak sesuai prosedur dan metode kerja yang benar, instruksi dan langkah tidak jelas, tidak diketahui metode yang digunakan, tidak terstandarisasi gerakan atau metode yang dilakukan, serta tidak cocok dengan kondisi actual yang ada, dll.

4. *Materials* (bahan utama dan bahan pelengkap), yaitu berkaitan dengan ketiadaan material yang sesuai spesifikasi kualitas dari bahan utama dan bahan pelengkap yang ditetapkan sebelumnya, ketiadaan penanganan yang efektif terhadap bahan baku dan bahan penolong itu seperti rusaknya material akibat penanganan yang salah, dll.
5. *Media*, yaitu berkaitan dengan tempat dan waktu kerja yang tidak memerhatikan aspek-aspek kebersihan, kesehatan dan keselamatan kerja (K3), dan lingkungan kerja yang konduktif, kurangnya cahaya dalam lampu penerangan, ventilasi yang tidak berjalan, kebisingan yang berlebihan sehingga dapat mengganggu pekerja, dll.
6. *Motivation* (motivasi), yaitu berkaitan dengan ketiadaan sikap kerja yang benar dan profesional dari pekerja, yang dalam hal ini disebabkan oleh sistem balas jasa dan penghargaan yang tidak adil kepada tenaga kerja dari manajemen.
7. *Money* (keuangan), yaitu berkaitan dengan ketiadaan dukungan *financial* (keuangan) yang mantap dari manajemen guna memperlancar proyek peningkatan kualitas *Six sigma* yang akan ditetapkan sebelumnya.

2.6.4 Tahap *Improve*

Tahap ini merupakan tahapan dimana solusi yang didapatkan berdasarkan hasil analisis yang telakukan sebelumnya di implementasikan terhadap permasalahan yang ada untuk dilakukan perbaikan. Pada tahap ini ditetapkan rencana tindakan (*Action Plan*) untuk melaksanakan peningkatan kualitas *Six sigma*. Pada dasarnya, rencana-rencana tindakan mendeskripsikan tentang alokasi sumberdaya serta prioritas dan alternatif yang akan dilakukan dalam implementasi dari rencana tersebut (Gasperz, 2002).

2.7 *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan suatu metode untuk pengambilan keputusan yang pada dasarnya adalah memilih suatu alternatif. Selain itu, menurut Bhushan dan Rai (2004) AHP merupakan pendekatan sistematis untuk pengambilan keputusan berdasarkan pengalaman, intuisi, dan struktur metodologi heuristik dengan prinsip matematis. Sehingga dalam proses ini, AHP merupakan sebuah hierarki fungsional dengan input utamanya merupakan persepsi manusia.

2.7.1 Prinsip-Prinsip Penyusun AHP

Menurut Kusri (2007) prinsip-prinsip dalam penyusunan AHP terbagi atas beberapa hal sebagai berikut:

1. Membuat hierarki

Dalam memahami sistem yang kompleks dibutuhkan pemecahan elemen-elemen pendukung, sehingga perlu penyusunan elemen secara hierarki.

2. Penilaian kriteria dan alternatif

Kriteria dan alternatif dibandingkan secara berpasangan pada Tabel 2.7. Berikut disajikan nilai dan definisi perbandingan dengan intensitas kepentingan skala 1–9. Apabila aktivitas *i* mendapat angka lebih tinggi dibandingkan aktivitas *j*, maka *j* memiliki nilai kebalikannya.

3. Menentukan prioritas

Nilai-nilai perbandingan relatif dari seluruh alternatif kriteria dapat disesuaikan dengan penilaian yang telah ditentukan untuk mendapatkan bobot atau prioritas.

4. Konsistensi logis

Konsistensi dalam AHP memiliki dua makna. Pertama, objek-objek yang serupa dapat dikelompokkan sesuai dengan keregaman dan relevansi. Kedua, berkaitan tingkat hubungan antar objek yang didasarkan pada kriteria tertentu.

Tabel 2.7

Skala Penilaian Perbandingan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen memiliki tingkat kepentingan yang sama
3	Salah satu elemen sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Salah satu elemen lebih penting dari elemen lainnya
7	Salah satu elemen jelas lebih penting mutlak daripada elemen lainnya
9	Salah satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua pertimbangan yang berdekatan

Sumber: Kusrini (2007)

2.7.2 Langkah-Langkah Penyusunan AHP

Menurut Kusrini (2007) penyusunan AHP terdiri atas beberapa hal sebagai berikut:

1. Penguraian masalah menjadi tujuan dari hierarki, kriteria, dan alternatif

Pada bagian ini dilakukan penentuan permasalahan yang menjadi dasar bagi pengamilan keputusan. Kemudian disusunlah struktur hierarki yang terdiri dari tujuan, kriteria maupun alternatif.

2. Menentukan prioritas elemen

Membuat perbandingan pasangan, yaitu membandingkan elemen secara berpasangan sesuai dengan kriteria yang diberikan. Matriks perbandingan berpasangan diisi menggunakan bilangan untuk merepresentasikan kepentingan relatif dari suatu elemen

terhadap yang lainnya.

3. Sintesis

Pertimbangan-pertimbangan terhadap perbandingan berpasangan disintesis untuk memperoleh keseluruhan prioritas. Hal-hal yang dilakukan dalam langkah ini adalah:

- a. Menjumlahkan nilai dari setiap kolom pada matriks.
- b. Membagi setiap nilai dari kolom dengan total kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks.
- c. Menjumlahkan nilai-nilai dari setiap baris dan membaginya dengan jumlah elemen untuk mendapatkan nilai rata-rata atau vektor eigen faktor.

4. Mengukur konsistensi

Dalam pembuatan keputusan, penting untuk mengetahui seberapa baik konsistensi yang ada karena tidak diinginkan keputusan diambil dengan pertimbangan yang memiliki nilai konsistensi rendah. Hal yang dilakukan dalam langkah ini adalah:

- a. Menghitung nilai *eigen* maksimum ($\lambda maks$) yang diperoleh dengan menjumlahkan hasil perkalian antara jumlah tiap kolom matriks pairwise comparasion bentuk desimal dengan tiap vektor *eigen* yang bersangkutan (Furqandari, 2015).
- b. Hitung Indeks Konsistensi/*Consistency Index*

Consistency Index dalam AHP dapat dihitung dengan Persamaan (2-6):

$$CI = (\lambda maks - n)/n \quad (2-6)$$

Sumber: Kusrini (2007)

dengan:

CI = Consistency Index
 $\lambda maks$ = Nilai eigen maksimum
 n = Banyaknya elemen

- c. Hitung Rasio Konsistensi/*Consistency Ratio*

Untuk menghitung rasio konsistensi maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$CR = CI/RC \quad (2-7)$$

Sumber: Kusrini (2007)

Dengan penjelasan:

CR = *Consistency Ratio*

RC = *Index Random Consistency*

Dalam Persamaan (2-6), *Index Random Consistency* didapat dengan melihat tabel

Index Random. Apabila nilai CR melebihi 10% maka perlu dilakukan perbaikan pada data. Tabel 2.8 merupakan tabel *Index Random*.

Tabel 2.8
Nilai *Index Random*

Ukuran Matrik	<i>Index Random</i>	Ukuran Matrik	<i>Index Random</i>
1,2	0	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,9	9	1,35
5	1,12	10	1,49
6	1,24		

Sumber: Kusri (2007)

2.8 ISO 5817

ISO 5817 adalah Standar Internasional yang menetapkan persyaratan untuk tingkat kualitas ketidaksempurnaan dalam pengelasan dan paduannya untuk proses *brazing* / *welding*. Komponen yang berbeda sangat sering diproduksi untuk produk yang berbeda, namun dengan persyaratan yang serupa dengan spesifikasi yang harus dipenuhi. Standar internasional ini salah satu landasan fundamental dari sistem manajemen mutu untuk digunakan dalam produksi struktur hasil proses *brazing/ welding*.

Standar Internasional tersebut juga mengatur jenis cacat dari proses *brazing/ welding*, mengatur juga kondisi ideal serta standar yang harus dipenuhi. Berikut akan ditunjukkan pada tabel 2.9 yang menyebutkan tentang penjabaran standar dalam ISO 5817.

Tabel 2.9
Penjabaran Standar dalam ISO 5817

No.	Jenis Cacat	Kondisi ideal	Standar yang harus dipenuhi
1.	Retak	Tidak boleh adanya retak pada seluruh daerah pengelasan	Tidak diperbolehkan
2.	Lubang Retak	Tidak boleh adanya lubang retak pada seluruh daerah pengelasan	Tidak diperbolehkan
3.	Lubang pada permukaan (keropos)	Tidak diperbolehkan ada cacat keropos pada pengelasan	$D < 0.3 s. \text{ but max } 3\text{mm}$ $D = \text{diameter porosity}$ $S = \text{thickness pipe}$
4.	Pengelasan pipa mulus	Pengelasan harus mulus tidak ada lubang	$H < 0.2 \times t. \text{ but max } 2\text{mm}$ $H = \text{end crater pipe}$ $T = \text{thickness pipe}$
5.	Cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa	Tidak boleh adanya cacat pengelasan akibat pelelehan yang tidak menyatu pada seluruh daerah pengelasan	Tidak diperbolehkan
6.	<i>Incomplete root penetration</i>	Sedikit ketidaksempurnaannya	$h \leq 0.2 \times t. \text{ but max } 2 \text{ mm}$ $H = \text{single side}$ $T = \text{thickness pipe}$
7.	<i>Undercut</i>	<i>Undercut</i> pada pipa tipis tidak diperbolehkan dan <i>undercut</i> pada pipa tebal yang dalam dan lebar tidak diperbolehkan	$H < 0.2 \times t. \text{ but max } 1 \text{ mm}$ $H = \text{end crater pipe}$ $T = \text{thickness pipe}$

No.	Jenis Cacat	Kondisi ideal	Standar yang harus dipenuhi
8.	<i>Shrinkage groove</i>	Pengisian penghalusan terpenuhi	$H < 0.2 \times t$. but max 2mm $H = imperfections$ $T = thickness\ pipe$
9.	Pengisian logam las yang berlebih	Pengelasan harus mulus dan <i>overfiller</i> tidak boleh > 3mm	Maksimal 10 mm
10.	<i>Overlap</i>	Pengelasan harus sesuai dengan alur las dan <i>overlap</i> > 2mm tidak diperbolehkan	$H < 0.2 \times b$ $H = overlap$ $B = wide\ welding\ area$
11.	Pengisian logam las yang kurang	<i>Filler</i> harus terisi dengan penuh pada alur pengelasan	Maksimal 2 mm
12.	Lubang pada daerah <i>start</i> dan <i>stop</i> di daerah <i>welding</i>	Tidak diperbolehkan cacat lubang pada daerah pengelasan	Tidak diperbolehkan
13.	Sentuhan elektroda	Tidak boleh adanya arc strike pada material pipa yang tipis	Diperbolehkan, jika tidak terpengaruh sifat logam dasar
14.	Kerusakan mekanis	Tidak boleh ada penyok yang tajam	Tidak diperbolehkan
15.	Percikan las	Tidak boleh ada percikan las pada daerah pengelasan	Diterima tergantung pengaplikasian

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian mengenai metode yang digunakan, tempat dan waktu penelitian, data yang digunakan selama penelitian, langkah langkah penelitian, dan diagram alir penelitian agar proses penelitian dapat terarah, terstruktur dan sistematis. Berikut merupakan penjelasan dari metode penelitian.

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian deksriptif yaitu memusatkan perhatian kepada pemecahan masalah-masalah aktual pada saat penelitian dilaksanakan. Peneliti melakukan deksripsi dan analisa permasalahan dari keadaan nyata objek penelitian sehingga didapatkan solusi permasalahan berupa usulan strategi perbaikan. Objek penelitian yang akan diteliti adalah proses *brazing* yang masih menyebabkan kecacatan tinggi yang tidak sesuai dengan ISO 5817 sehingga perlu menganalisa pada proses *brazing* untuk mengurangi cacat yang terjadi.

3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Perusahaan *heat exchanger* Pandaan, Jawa Timur. Adapun pelaksanaannya dilakukan pada Juni 2017–Desember 2017.

3.3 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan di Perusahaan

Studi lapangan terhadap objek penelitian diperoleh berdasarkan hasil wawancara dengan pihak internal perusahaan yang bergerak dibidang produksi *heat exchanger*. Dari wawancara tersebut diperoleh permasalahan yang terjadi pada proses produksi *heat exchanger* sehingga dapat dilakukan identifikasi untuk masing-masing permasalahannya. Selain itu juga dilakukan studi literatur sebagai acuan penggunaan metode yang tepat untuk memecahkan permasalahan.

2. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan membaca literatur –literatur serta sumber-sumber data informasi lainnya untuk mengaitkan permasalahan yang sudah diidentifikasi

dengan teori-teori penunjang. Literatur yang digunakan adalah buku-buku serta jurnal terkait penerapan *DMAI* atau *Define, Measure, Analyse, dan Improve* dalam mengidentifikasi proses yang paling signifikan menyebabkan cacat saat proses *brazing* dengan menggunakan metode *Six Sigma* dan AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dalam penyelesaian masalah.

3. Perumusan Masalah

Setelah melakukan identifikasi masalah dilanjutkan dengan merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan. Perumusan masalah adalah rincian dari permasalahan yang dikaji dan menunjukkan tujuan dari penelitian ini.

4. Tujuan Penelitian

Setelah melakukan perumusan masalah, selanjutnya adalah penetapan tujuan penelitian, dimana tujuan ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan. Tujuan dalam penelitian ini kemudian digunakan sebagai ukuran tingkat keberhasilan penelitian.

5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dapat diartikan sebagai proses atau kegiatan yang dilakukan dalam penelitian untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan di lokasi penelitian yang mendukung kegiatan penelitian. Data yang dikumpulkan terdiri dari dua jenis data yaitu:

- a. Data primer, merupakan data yang didapat dari sumber pertama seperti hasil dokumentasi langsung maupun hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti. Penelitian ini menggunakan data primer sebagai berikut:
 - 1) Informasi terkait penyebab-penyebab terjadinya cacat/ *defect* proses *brazing*.
 - 2) Data proses produksi.
 - 3) Data-data tingkatan nilai S, O, D yang digunakan pada perhitungan FMEA.
 - 4) Data-data nilai perbandingan kriteria S, O, D yang digunakan pada perhitungan AHP.
- b. Data sekunder, yaitu data yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan oleh orang yang mengumpulkan data tersebut atau pihak lain. Data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - 1) Profil dan sejarah Perusahaan
 - 2) Informasi *Layout* Perusahaan
 - 3) Data Mengenai Proses *brazing*
 - 4) Jumlah *Joint* tahun 2016

5) Jumlah cacat proses produksi *Heat Exchanger* tahun 2016

6. Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah dan di analisis. Adapun langkah pengolahan data adalah sebagai berikut:

a. *Define*:

- Identifikasi *Critical To Quality* (CTQ) pada proses *brazing*
- Identifikasi jenis-jenis cacat potensial.

Tahap ini dilakukan dengan menggunakan konsep “*vital few trivial many*” pada *tool* diagram *pareto* untuk mendapatkan jenis *defect product* potensial.

b. *Measure*:

- Perhitungan kapabilitas proses dengan menghitung DPMO dan level sigma

7. Analisis Data dan Pembahasan

a. *Analyze*:

- Identifikasi *failure mode* dan *failure effect*

Pada tahap ini menggunakan metode FMEA dengan menggunakan data-data yang telah dikumpulkan. Berikut merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan.

- 1) Identifikasi *potensial failure mode* dan *failure effect*.
- 2) Penentuan nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D).

- Penentuan bobot kriteria S, O, D

Pada tahap ini dilakukan metode AHP. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan.

- 1) Penyusunan hierarki.
- 2) Pembobotan terhadap kriteria.
- 3) Mengukur konsistensi.

- Konfirmasi penghitungan RPN

Pada tahap ini, RPN dilakukan dengan perhitungan nilai RPN yang melibatkan bobot dari masing-masing kriteria FMEA (S, O, D).

- Analisis akar penyebab masalah

Tahap ini berfungsi untuk mengidentifikasi akar penyebab terjadinya masing-masing cacat proses *brazing* potensial dengan *tool Fishbone Diagram* (Diagram Sebab Akibat). Berikut merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan.

- 1) Menempatkan kejadian cacat proses *brazing* paling potensial dari nilai RPN tertinggi setelah pembobotan pada kepala diagram.
- 2) Analisa penyebab cacat tersebut berdasarkan faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan
- 3) Identifikasi masing-masing faktor hingga penyebab yang paling kritis.

b. *Improve*:

- Pada tahap ini dilakukan diskusi dengan pihak perusahaan untuk menemukan tindakan perbaikan yang dapat mencegah terjadinya kegagalan proses *brazing* potensial yang sesuai dengan kondisi perusahaan serta mempertimbangkan hasil *Fishbone Diagram* (Diagram Sebab Akibat) sebelumnya.
- Analisis dan Pembahasan
Tahap analisis dan pembahasan merupakan tahap yang penting dalam penentuan hasil penelitian. Dalam hal ini akan menganalisis penyebab *defect* proses *brazing* paling potensial berdasarkan perhitungan FMEA dan AHP. Sehingga didapatkan penurunan risiko cacat berdasarkan hasil estimasi terhadap penerepan rekomendasi perbaikan dengan menghitung RPN setelah rekomendasi.

8. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan penutup dari keseluruhan langkah penelitian. Kesimpulan yang berisi hasil-hasil analisa yang menjawab rumusan masalah. Serta saran sebagai tindak lanjut dari penelitian yang diharapkan dapat memberi manfaat untuk Perusahaan yang bergerak di bidang *heat exchanger*.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dari penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan mengenai gambaran umum perusahaan, hasil dan pembahasan dari perumusan masalah serta tujuan yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya melakukan pengumpulan data, dijelaskan pula masing-masing tahapan dalam pengolahan data DMAI *Six Sigma* dan AHP. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode tersebut kemudian diberi solusi perbaikan dari hasil analisis dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan.

4.1 Gambaran Umum Perusahaan

Gambaran umum perusahaan yang dijelaskan mengenai sejarah berdirinya perusahaan, visi misi, hasil produk, proses produksi dan *flow process job order*. Melalui penjelasan ini, akan mendapatkan gambaran terkait informasi perusahaan yang diamati di perusahaan *heat exchanger* Pandaan.

4.1.1 Sejarah Perusahaan

Perusahaan yang menjadi objek penelitian merupakan sebuah perusahaan multinasional yang bergerak di bidang *heat exchanger*. Berikut adalah sejarah perusahaan *Heat Exchanger* Pandaan yang digambarkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1

Sejarah Perusahaan *Heat Exchanger* Pandaan

Tahun	Sejarah
1995	Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan didirikan pada lahan seluas 30,650 m ² di Wonokoyo, Beji, Pasuruan
1996	Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan memulai kegiatan produksi
1999	Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan menerapkan sistem manajemen mutu ISO 9002 dan mencapai sertifikasi ISO 9002 dari TUV Internasional
2002	<ul style="list-style-type: none">- Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan memperluas pasar dari Asia Tenggara ke Asia Pasifik- Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan menerapkan sistem manajemen mutu ISO 9001: 2000 dan telah disertifikasi oleh TUV International
2005	<ul style="list-style-type: none">- Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan mendirikan <i>Change Management Department</i> untuk meningkatkan proses pembangunan
2006	<ul style="list-style-type: none">- <i>Marketing and Sales Department</i> berubah menjadi perusahaan gabungan Asia Pasifik di Singapura dengan beberapa kantor perwakilan di beberapa daerah
2007	<ul style="list-style-type: none">- Terjadi <i>re-organized</i> perusahaan dengan mendirikan <i>engineering, development, dan order processing department</i> untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses- Mendirikan <i>controlling department</i> untuk menguatkan perusahaan dalam penerapan manajemen performansi
2008	<ul style="list-style-type: none">- Perusahaan <i>heat exchanger</i> Pandaan melaksanakan program <i>Enterprise Resource</i>

Tahun	Sejarah
	<i>Planning</i> baru dengan menggunakan program Infor LN untuk meningkatkan kinerja perusahaan berdasarkan proses manajemen
2009	<ul style="list-style-type: none"> - Mendirikan <i>Industrial Engineering Department</i> untuk meningkatkan kapasitas produksi - Mendirikan <i>Bussiness Line Management Department</i> berfokus pada konsumen

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

- Visi

Perusahaan *heat exchanger* Pandaan akan menjadi perusahaan manufaktur *heat exchanger* yang paling efektif, efisien, dan inovatif di dalam grupnya.

- Misi

- 1 Memberikan kepuasan pelanggan yang tertinggi.
- 2 Memberikan perhatian khusus terhadap karyawan.
- 3 Mempertahankan efisiensi biaya.
- 4 Membangun fasilitas produksi modern dan menggunakan instrumen kontrol terdepan.
- 5 Selalu berusaha keras untuk mewujudkan perbaikan dan keefektifan proses.
- 6 Investasi dan kepemimpinan teknologi yang berkesinambungan, inovasi, dan kesadaran biaya.
- 7 Berkonsentrasi pada kompetensi inti.

4.1.3 Hasil Produk

Produk-produk yang dihasilkan oleh perusahaan *heat exchanger* adalah sebagai berikut.

1. *Evaporator* (AGHN, BASECUBE, DHF, DHN/ADHN, GDF 1, GFN, GSF 3)

Pada gambar 4.1 adalah contoh produk evaporator dari perusahaan *Heat Exchanger* Pandaan.



Gambar 4.1 Evaporator untuk Sektor Industri

2. *Air Cooler* (GKB-GGBK, GDF 1/GDM 1, GEK N, GHF 2/GSF 2, GHN 2)

Pada gambar 4.2 merupakan contoh produk *air cooler* perusahaan *heat exchanger* Pandaan.



Gambar 4.2 Air Cooler jenis GKB-GGKB

3. Dry Cooler (GFH)

Pada gambar 4.3 merupakan contoh produk *dry cooler* dari perusahaan *heat exchanger* Pandaan.



Gambar 4.3 Dry Cooler jenis GFH Supermarket

4. Condenser (GVD, GVH V, GVM, GVW, STULZ SERIES)

Pada gambar 4.4 merupakan contoh produk condenser dari perusahaan *heat exchanger* Pandaan.



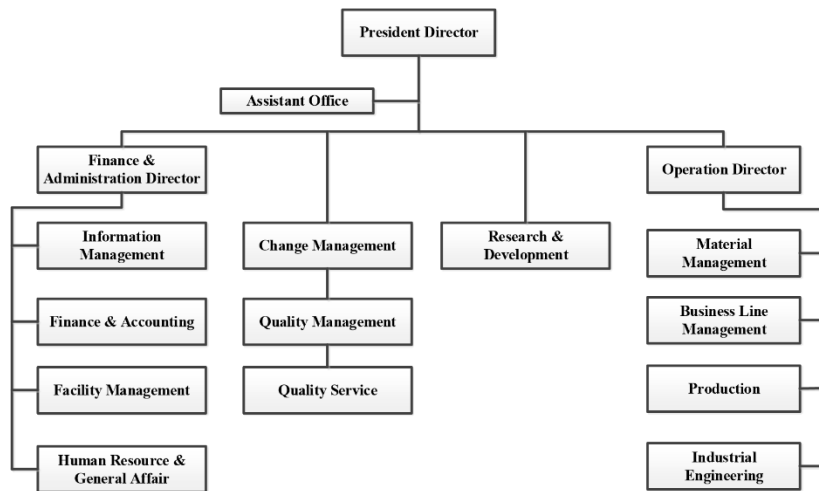
Gambar 4.4 Condenser jenis GVD Lion City

4.1.4 Organisasi dan Manajemen

Perusahaan *heat exchanger* menerapkan struktur organisasi fungsional terpusat, dimana setiap fungsi bertanggung jawab kepada atasannya masing-masing. Adapun struktur organisasi fungsional ini dibagi menjadi departemen-departemen yang memiliki fungsinya masing-masing. Setiap departemen memiliki satu *manager* dan satu *deputy manager* sebagai penanggung jawab dari departemen tersebut.

Jabatan tertinggi perusahaan dipegang oleh seorang *president director* yang membawahi para *director*. Para *director* membawahi *General Manager* dan seterusnya sampai ketingkat

manager, deputy manager, sub-department head (SDH) dan staff/worker. Berikut adalah struktur organisasi perusahaan *heat exchanger*.



Gambar 4.5 Struktur organisasi perusahaan *heat exchanger* Pandaan

4.1.5 Proses Produksi

Secara umum, proses *assembly* terdiri dari 7 proses, yaitu:

1. Proses *Coil Assembly*

Proses *coil assembly* adalah proses dasar pada perakitan. Proses ini dikerjakan oleh dua kelompok kerja yang masing-masing kelompok terdiri dari dua orang operator yang bekerja secara bersama-sama. Dalam proses ini, komponen yang dirakit adalah *fin*, *stirnblech*, dan pipa. Langkah pertama dalam proses ini adalah memasang mal pada meja perakitan. Selanjutnya adalah merakit *fin* dan *stirnblech* dan memasang beberapa pipa sebagai penyangga. Setelah itu memasukkan pipa ke dalam lubanglubang *fin*. Setelah selesai memasukkan pipa pada *fin*, selanjutnya memasang *jig* pada unit agar dimensi unit dapat diukur. Setelah itu, ukur dimensi dari unit kemudian dilanjutkan dengan memberi minyak pada tiap pipa dengan cara menyemprotkan ke dalam pipa, hal tersebut bertujuan untuk memudahkan operator saat proses *expand*. Selanjutnya yaitu *hammer drill* yang bertujuan untuk melebarkan ujung pipa agar bola *expand* dapat masuk ke dalam pipa saat proses *expand*. Kemudian dilanjutkan dengan proses *expand* yang dilakukan pada semua pipa. Setelah proses *expand* selesai, *jig* yang terpasang dilepas dilanjutkan dengan melepas mal. Unit kemudian dipindahkan ke proses selanjutnya dengan bantuan *crane*. Secara singkat proses *coil assembly* dapat diartikan proses perakitan coil yang terdiri dari *fin*, *tube*, dan *stirnblech*. Proses ini bertujuan untuk menyatukan ketiga komponen tersebut menggunakan proses *expand*. Proses *expand* adalah proses menembak pipa yang sudah terpasang pada *fin* dan *stirnblech* dengan bola *expand* agar diameter pipa sesuai dengan lubang pada *fin*.



Gambar 4.6 Proses *coil assembly*

2. Proses *Brazing Coil*

Proses *brazing coil* adalah proses pengelasan untuk menyambungkan pipa, pipa U, dan kepala pipa dengan menggunakan *filler* yang telah ditentukan oleh perusahaan. Proses ini dikerjakan oleh dua kelompok kerja yang masing-masing kelompok terdiri dari dua orang operator yang bekerja secara bersama-sama. Langkah awal sebelum *brazing* dilakukan adalah memastikan bahwa panjang semua pipa satu ukuran dan sesuai dengan spesifikasi. Apabila terdapat pipa yang terlalu panjang, maka operator memotongnya. Setelah hal tersebut dilakukan, operator harus melebarkan ujung pipa dengan bantuan alat, hal tersebut sebagai wadah untuk menyambungkan kepala pipa dengan pipa yang telah dirakit dengan *fin*. Untuk menyambungkan pipa dan kepala pipa, operator menggunakan *filler* yang sudah disediakan oleh perusahaan.

Setelah dirakit pada proses *coil assembly*, selanjutnya pipa unit hasil *expand* dipotong menggunakan mesin frais untuk kemudian menuju proses *brazing*. Proses *brazing* bertujuan untuk memasang *u-bend* sebagai sambungan dan *header*. Setelah *brazing* selesai, maka unit dibawa ke proses selanjutnya yaitu proses *washing*.



Gambar 4.7 Proses *brazing*

3. Proses *Washing Coil*

Proses *washing coil* adalah proses membersihkan unit dengan menyemprotkan air bertekanan ke semua bagian unit yang bertujuan untuk menghilangkan minyak serta kotoran-kotoran yang terdapat pada unit yang berasal dari proses *coil assembly* dan *brazing*. Proses ini dilakukan oleh seorang operator. Langkah pertama dalam proses ini adalah unit harus dipindahkan terlebih dahulu ke dalam ruang pencucian (*washing cabin*) setelah itu dilakukan

proses *washing*. Setelah selesai, unit dipindahkan ke area *testing*. *Washing coil* bertujuan untuk membersihkan *coil* dari minyak sisa proses *expand* serta kerak yang terbentuk dari proses *brazing*. Pencucian dilakukan menggunakan air bertekanan tinggi yang disemprotkan pada *coil*.



Gambar 4.8 Proses *washing coil*

4. Proses *Testing Coil*

Proses *testing coil* adalah proses untuk menguji kebocoran unit. Kebocoran unit bisa terjadi pada sambungan hasil pengelasan *tube*, *u-bend*, dan *tube header*. Proses ini dilakukan oleh seorang operator dengan mengisi unit dengan udara dengan tekanan tertentu, kemudian memasukkan unit ke dalam kolam (bak). Unit didiamkan beberapa menit terlebih dahulu, setelah itu operator memeriksa kebocoran dengan menggunakan lampu sorot. Bila unit tidak mengalami kebocoran operator menempelkan stiker LT yang berarti lolos tes kebocoran. Setelah itu tekanan udara pada unit diturunkan, bila sudah selesai dilanjutkan dengan melepas selang dan memasang tutup *header*. Tahap terakhir adalah memindahkan unit ke palet di area *final assembly*. Proses *testing* bertujuan untuk mengetahui apakah ada kebocoran pada *coil* yang telah diproduksi. *Testing* dilakukan dengan memasukkan *coil* ke dalam bak yang berisi air sedalam 2 meter dengan diberi tekanan udara sebesar 35 bar.



Gambar 4.9 Proses *testing coil*

5. Proses *Final Assembly*

Proses *final assembly* adalah proses pemasangan *casing-casing* unit dan *accessories* lain yang diperlukan. Proses ini dikerjakan oleh dua kelompok kerja. Masing-masing kelompok terdiri dari dua orang operator yang bekerja secara bersama-sama. Langkah pertama dalam proses ini adalah memasang *casing-casing* dan *accessories* yang telah

disapkan. Setelah semua terpasang, operator melakukan pengecekan unit dan memberi *checklist* pada lembar *qualit card* yang telah disediakan. Setelah itu, unit dipindahkan proses selanjutnya yaitu *electric assembly*. Proses *final assembly* adalah proses perakitan akhir yang bertujuan untuk memasang *casing* pada unit yang sudah lolos *leakage test*.



Gambar 4.10 Proses *final assembly*

6. Proses *Electrical Assembly*

Proses *electric assembly* adalah proses pemasangan kelengkapan elektrik seperti *fan*, *fan heater*, dan *junction box* pada unit. Proses ini dikerjakan oleh dua kelompok kerja. Masing-masing kelompok terdiri dari dua orang operator yang bekerja secara bersama-sama. Pada proses ini operator juga bertanggungjawab untuk memastikan bahwa unit dapat beroperasi. Selain itu operator juga harus memberi petunjuk pengoperasian unit. *Electrical assembly* adalah proses perakitan komponen elektrik seperti *heater* dan *junction box* pada unit yang sudah dipasang *casing* pada *final assembly*.



Gambar 4.11 Proses *Electrical Assembly*

7. Proses *packing*

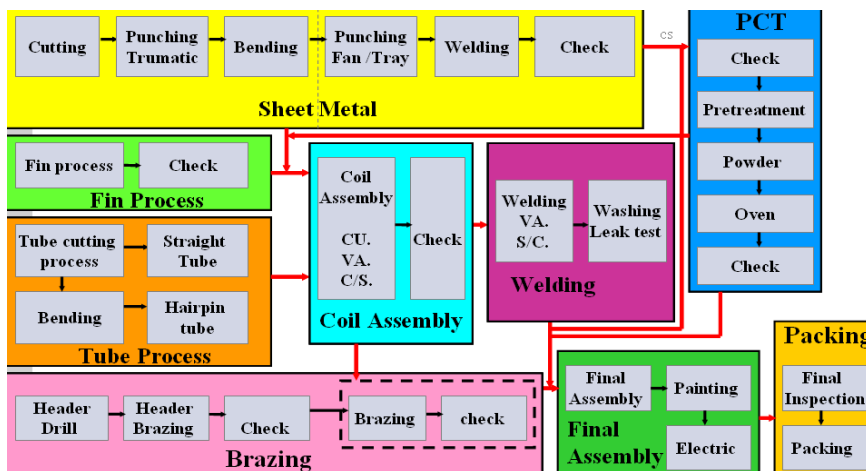
Proses *packing* adalah proses terakhir pada proses produksi. Proses ini dikerjakan oleh dua kelompok kerja. Masing-masing kelompok terdiri dari dua orang operator yang bekerja secara bersama-sama. Hal utama yang harus dilakukan adalah menyiapkan kayu dan plastik untuk pengemasan. Setelah kelengkapan pengemasan selesai, unit dipindahkan ke area *packing* dilanjutkan dengan memasang kelengkapan pengemasan yaitu kayu-kayu yang telah dipotong-potong pada proses persiapan, dilanjutkan dengan memasang plastik agar unit tidak basah saat proses pengiriman. Proses terakhir adalah proses *packing* yang bertujuan untuk membungkus unit yang sudah siap dilepas.



Gambar 4.12 Proses packing

4.1.6 Flow Process Job Order

Berikut merupakan *flow process job order* perusahaan *heat exchanger* Pandaan.



Gambar 4.13 Tata letak fasilitas perusahaan *heat exchanger* Pandaan

4.2 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data yang dikumpulkan adalah jumlah cacat pada masing-masing jenis proses *brazing*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan jenis proses *brazing* yang potensial. Pengumpulan data jumlah cacat diperoleh dari data pihak perusahaan. Pengumpulan tersebut dilakukan dengan inventarisasi data jumlah setiap cacat yang terjadi sesuai dengan jenisnya masing-masing.

4.3 Six Sigma

DMAIC merupakan sebuah konsep dari *six sigma*, dimana salah tujuan konsep ini adalah untuk meminimalisir tingkat kecacatan. Tahapan ini dimulai dari *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control*. Namun pada penelitian ini tahap *Six-Sigma* yang dilakukan hanya pada siklus DMAI (*define*, *measure*, *analyze*, dan *improve*) dimana merupakan usulan perbaikan yang diberikan kepada perusahaan untuk meminimalisir jumlah kecacatan pada proses *brazing*.

4.3.1 Define

Pada tahap ini didefinisikan tentang permasalahan yang harus diperhatikan untuk dapat mencapai performa mutu yang lebih baik. Beberapa pembahasan yang akan dibahas pada tahap ini antara lain objek penelitian yang merupakan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, identifikasi jenis-jenis cacat potensial, *Critical to Quality* yang akan ditinjau dari proses *brazing*, dan mengidentifikasi jenis cacat yang akan dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan diagram *pareto*.

4.3.1.1 Objek Penelitian

Pada objek penelitian ini yang diamati adalah cacat dari proses *brazing* pada proses produksi *heat exchanger* dikarenakan proses tersebut memiliki jumlah cacat yang tidak sesuai standar perusahaan dan juga standar dari ISO. Cacat tersebut juga masih dianggap bukan suatu permasalahan di perusahaan tersebut padahal perusahaan memiliki prinsip *kaizen / continuous improvement* (perbaikan terus menerus) yang diterapkan di perusahaan.

4.3.1.2 Critical To Quality (CTQ) Proses Brazing

Critical To Quality adalah atribut yang penting untuk diperhatikan karena berhubungan langsung dengan keinginan dan kebutuhan pelanggan, CTQ juga merupakan kriteria karakteristik kualitas yang menimbulkan dan atau memiliki potensi untuk menimbulkan kecacatan atau kecacatan itu sendiri sehingga perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas dari proses dan juga mengurangi kemungkinan untuk adanya *rework* dan *reject* setelah proses sudah berlalu. Berdasarkan ISO 5817 sebagai standar untuk proses *brazing* dan diskusi dengan bagian *industrial engineering* serta operator pada proses *brazing*, maka dapat dilihat pada Tabel 4.2. CTQ (*Critical To Quality*) proses *brazing* di perusahaan *heat exchanger* Pandaan.

Tabel 4.2

Critical To Quality (CTQ) Proses *Brazing*

No.	CTQ	Tampilan	Tindakan
1.	Tidak adanya retak pada seluruh daerah pengelasan	Pipa retak setelah proses <i>brazing</i>	<i>Reject / Rework</i>
2.	Tidak ada cacat keropos pada pengelasan	Pipa keropos setelah proses <i>brazing</i>	<i>Reject / Rework</i>
3.	Tidak ada lubang pada daerah <i>brazing</i>	Lubang pada daerah start dan stop di daerah <i>brazing</i>	<i>Reject / Rework</i>
4.	Filler harus terisi dengan penuh pada alur pengelasan	Cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa	<i>Rework</i>
5.	Tidak boleh ada penyok yang tajam	Kerusakan mekanis	<i>Rework</i>

Sumber: Perusahaan *heat exchanger* Pandaan

Berdasarkan Tabel 4.2 *Critical to Quality* proses *brazing*, yang tidak memenuhi CTQ akan dimasukkan ke dalam jenis produk cacat. Jenis cacat pada proses *brazing* terdiri dari lima jenis *defect* yaitu pipa retak setelah proses *brazing*, pipa keropos setelah proses *brazing*, lubang pada daerah start dan stop di daerah *brazing*, cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa, kerusakan mekanis. Berikut akan ditunjukkan pada Tabel 4.3 Jumlah *joint* yang cacat pada proses *brazing* tahun 2016.

Tabel 4.3

Jumlah *Joint* yang Cacat Proses *Brazing* Tahun 2016

Jenis Cacat	Jumlah <i>joint</i> yang cacat
Pipa retak setelah proses <i>brazing</i>	969
Pipa keropos setelah proses <i>brazing</i>	543
Lubang pada daerah <i>start</i> dan <i>stop</i> di daerah <i>brazing</i>	342
Cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa	194
Kerusakan mekanis	101
Lain-lain	87

Sumber: Perusahaan *heat exchanger* Pandaan

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa setiap jenis cacat yang dikategorikan dan dimasukkan ke dalam CTQ memiliki jumlah cacat yang juga berpengaruh dari total jumlah cacat yang ada pada proses *brazing*. Berikut penjelasan dari masing-masing jenis cacat yang terjadi:

1. Pipa retak setelah proses *brazing*

Cacat pipa retak setelah proses *brazing* adalah cacat yang menyebabkan aliran perpindahan kalor tidak optimal, retak tersebut juga dapat berdampak patah pada sambungan *header* dengan pipa bila terjadi tekanan yang tinggi atau terjadi benturan dengan benda lain. Kualitas yang ditentukan dari ISO 5817 adalah tidak adanya retak pada pipa setelah proses *brazing*. Sehingga bila terjadi retak setelah proses *brazing* maka perlu dilakukan proses *brazing* ulang untuk memperkuat retak tersebut atau jika parah bisa sampai *reject*.



Gambar 4.14 Cacat retak setelah proses *brazing*

2. Pipa keropos setelah proses *brazing*

Cacat pipa keropos setelah proses *brazing* adalah cacat yang menyebabkan kerusakan

pada sambungan pipa dengan *header* yang dapat berdampak patah pada sambungannya. Kualitas yang ditentukan dari ISO 5817 adalah tidak adanya keropos pada pipa setelah proses *brazing*. Sehingga bila terjadi keropos setelah proses *brazing* maka perlu dilakukan proses *brazing* ulang untuk memperkuat keropos tersebut atau jika parah bisa sampai *reject*.



Gambar 4.15 Cacat keropos setelah proses *brazing*

3. Lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*

Cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing* adalah cacat yang menyebabkan aliran perpindahan kalor tidak dapat mengalir hingga akhir saluran saat dialiran pipa tersebut kalor justru keluar melalui lubang tersebut, pun bisa berdampak masuknya udara yang menyebabkan aliran kalor tidak optimal. Lubang tersebut juga dapat berdampak sambungan patah terjadi benturan dengan benda lain. Kualitas yang ditentukan dari ISO 5817 adalah tidak adanya lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*. Sehingga bila terjadi lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing* setelah proses *brazing* maka perlu dilakukan proses *brazing* ulang untuk menutupi lubang tersebut atau jika parah bisa sampai *reject*.



Gambar 4.16 Lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*

4. Cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa

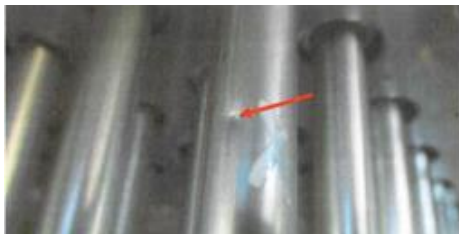
Cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa adalah cacat yang menyebabkan sambungan tidak kuat dan dapat berdampak patah saat terbentur dengan benda lain, kurang pelelehan pun bisa berdampak masuknya udara yang menyebabkan aliran kalor tidak optimal. Kualitas yang ditentukan dari ISO 5817 adalah *filler* harus terisi dengan penuh pada alur pengelasan. Sehingga bila kurangnya pelelehan pada sisi pipa maka perlu dilakukan proses *brazing* ulang.



Gambar 4.17 Cacat sambungan las kurang pelelehan

5. Kerusakan mekanis

Cacat kerusakan mekanis adalah cacat yang menyebabkan sambungan penyok tajam sehingga menghambat aliran kalor pada pipa. Kualitas yang ditentukan dari ISO 5817 adalah tidak boleh adanya penyok yang tajam. Sehingga bila terjadi penyok yang tajam maka perlu dipotong bagian tersebut lalu melakukan *brazing* ulang.



Gambar 4.18 Cacat kerusakan mekanis

4.3.1.3 Identifikasi Jenis-Jenis Cacat Potensial Menggunakan Diagram *Pareto*

Tahap berikutnya yaitu melakukan identifikasi jenis-jenis cacat potensial yang termasuk dari CTQ dari kualitas pipa dan *header* pada proses *brazing* terdefinisi maka melakukan analisis dengan menggunakan diagram *pareto*. Diagram *pareto* digunakan untuk mengetahui *vital view trial* yang berpengaruh besar walaupun kecil perlu segera diperbaiki dari apa yang telah teridentifikasi pada CTQ terhadap proses *brazing*. Tabel 4.3 merupakan tabel yang menjelaskan mengenai jumlah cacat proses *brazing* pada tahun 2016. Pada Tabel 4.4 ditunjukkan data mengenai jumlah cacat proses *brazing* tahun 2016 beserta persentase kumulatif dari jenis cacat.

Tabel 4.4

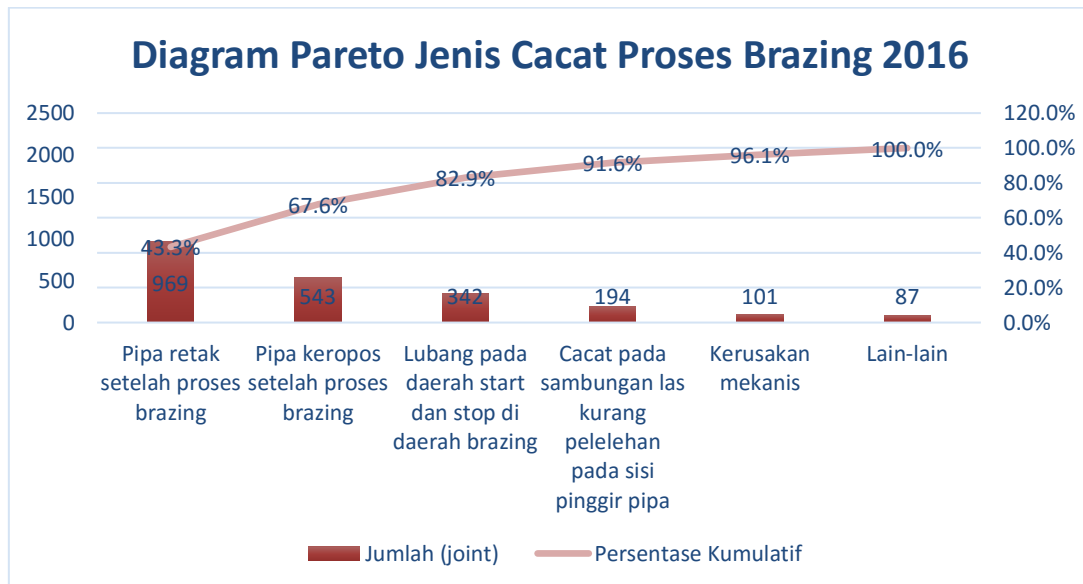
Jumlah Cacat Proses *Brazing* Tahun 2016 Beserta Persentase Kumulatif dari Jenis Cacat

No.	Jenis Cacat	Jumlah (joint)	Persentase (Jumlah / Total)	Persentase Kumulatif
1.	Pipa retak setelah proses <i>brazing</i>	969	43,3%	43,3%
2.	Pipa keropos setelah proses <i>brazing</i>	543	24,3%	67,6%
3.	Lubang pada daerah start dan stop di daerah <i>brazing</i>	342	15,3%	82,9%
4.	Cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa	194	8,7%	91,6%
5.	Kerusakan mekanis	101	4,5%	96,1%
6.	Lain-lain	87	3,9%	100,0%
	Total	2.236	100%	

Sumber: Perusahaan *heat exchanger* Pandaan

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat jumlah jenis cacat tertinggi pada cacat proses *brazing* tahun 2016 adalah pipa yang retak setelah *brazing* sebanyak 969 *joint*. Persentase didapat dari jumlah cacat/total, contoh perhitungan untuk persentase tertinggi diperoleh dari $969/2.236=43,3\%$. Pipa yang retak setelah *brazing* dalam hal ini memiliki standar dalam kondisi ideal yaitu tidak boleh adanya retak pada seluruh daerah pengelasan. Sedangkan untuk jumlah cacat terendah terjadi pada campuran jenis cacat lain yang tidak disebutkan satu persatu seperti yang telah ada pada standar ISO 5817 karena jumlah yang kecil dengan jumlah akumulasi sebanyak 87 *joint* dengan persentase 3,9%.

Selanjutnya dilakukan pembuatan diagram *pareto* agar dapat mengetahui penyebab cacat yang secara signifikan berpengaruh pada proses *brazing*. Gambar 4.22 merupakan diagram *pareto* yang menampilkan persentase pada masing-masing jenis cacat proses *brazing*.



Gambar 4.19 Diagram *pareto* proses *brazing*

Dari analisis diagram *pareto* dapat diketahui persentase paling berpengaruh jenis cacat pada proses *brazing* yaitu cacat pipa retak setelah proses *brazing* yaitu sebesar 43.3% atau sejumlah 969, cacat pipa keropos setelah proses *brazing* yaitu sebesar 24.3% atau sejumlah 543, cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing* yaitu sebesar 15.3% atau sejumlah 342.

4.3.2 Measure

Setelah dilakukan tahap *define*, selanjutnya tahap yang dilakukan adalah tahap *measure*. Pada tahap ini dilakukan penghitungan kapabilitas proses dengan menghitung DPMO dan level sigma.

4.3.2.1 Menghitung DPMO

Hasil analisis diagram *pareto* menunjukkan bahwa jenis cacat yang potensial terdiri dari 3 jenis cacat yaitu cacat pipa retak setelah proses *brazing*, cacat pipa keropos setelah proses *brazing* dan cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*. Berikut dilakukan penghitungan berdasarkan masing-masing jenis cacat potensial.

1. Cacat pipa retak setelah proses *brazing*

Berikut ditunjukkan pada tabel 4.5 jumlah pipa yang di *joint* pada proses *brazing* dan jumlah cacat pipa retak setelah proses *brazing* pada tahun 2016.

Tabel 4.5

Jumlah *Joint* dan Jumlah Cacat Pipa Retak Setelah Proses *Brazing* pada Tahun 2016

No.	Periode	Jumlah <i>Joint</i>	Jumlah retak	Persentase cacat (jumlah/ <i>joint</i>)
1.	Januari	32.242	96	0,298%
2.	Februari	36.324	43	0,118%
3.	Maret	22.332	31	0,139%
4.	April	48.062	128	0,266%
5.	Mei	49.004	132	0,269%
6.	Juni	44.918	101	0,225%
7.	Juli	35.027	53	0,151%
8.	Agustus	31.580	39	0,123%
9.	September	45.824	99	0,216%
10.	Oktober	34.975	45	0,129%
11.	November	44.358	56	0,126%
12.	Desember	42.262	146	0,345%
Jumlah		466.908	969	0,208%

Pada Tabel 4.5 diatas dapat dilihat bahwa jumlah retak berjumlah 969 produk cacat. Rata-rata cacat retak sebesar 0,208% diperoleh dari 969 dibagi total produksi 466.908 *joint*. Selanjutnya dilakukan penghitungan DPMO sebagai berikut.

$$DPO = \frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa}} = \frac{969}{466908} = 0,002075$$

$$DPMO = \left(\frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa} \times \text{CTQ potensial}} \right) \times 1.000.000 = \frac{969}{466908 \times 3} \times 1000000 = 691,7851$$

2. Cacat pipa keropos setelah proses *brazing*

Berikut merupakan tabel 4.6 jumlah pipa yang di *joint* pada proses *brazing* dan jumlah cacat pipa keropos setelah proses *brazing* pada tahun 2016.

Tabel 4.6

Jumlah *Joint* dan Jumlah Cacat Pipa Keropos Setelah Proses *Brazing* pada Tahun 2016

No.	Periode	Jumlah <i>Joint</i>	Jumlah keropos	Persentase cacat (jumlah/ <i>joint</i>)
1.	Januari	32.242	44	0,136%
2.	Februari	36.324	20	0,055%
3.	Maret	22.332	18	0,081%

No.	Periode	Jumlah <i>Joint</i>	Jumlah keropos	Persentase cacat (jumlah/ <i>joint</i>)
4.	April	48.062	87	0,181%
5.	Mei	49.004	82	0,167%
6.	Juni	44.918	41	0,091%
7.	Juli	35.027	51	0,146%
8.	Agustus	31.580	23	0,073%
9.	September	45.824	40	0,087%
10.	Oktober	34.975	45	0,129%
11.	November	44.358	46	0,104%
12.	Desember	42.262	46	0,109%
Jumlah		466.908	543	0,116%

Pada Tabel 4.6 diatas dapat dilihat bahwa jumlah retak berjumlah 543 produk cacat. Rata- rata cacat keropos sebesar 0,116% diperoleh dari 543 dibagi total produksi 466.908 *joint*. Selanjutnya dilakukan penghitungan DPMO sebagai berikut.

$$DPO = \frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa}} = \frac{543}{466908} = 0,001163$$

$$DPMO = \left(\frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa} \times \text{CTQ potensial}} \right) \times 1.000.000 = \frac{543}{466908 \times 3} \times 1000000 = 387,6567$$

3. Cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*

Berikut merupakan tabel 4.7 jumlah pipa yang di *joint* pada proses *brazing* dan jumlah cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing* pada tahun 2016.

Tabel 4.7

Jumlah *Joint* dan Jumlah Cacat Pipa Lubang Setelah Proses *Brazing* pada Tahun 2016

No.	Periode	Jumlah <i>Joint</i>	Jumlah lubang	Persentase cacat (jumlah/ <i>joint</i>)
1.	Januari	32.242	32	0,099%
2.	Februari	36.324	19	0,052%
3.	Maret	22.332	16	0,072%
4.	April	48.062	53	0,110%
5.	Mei	49.004	49	0,100%
6.	Juni	44.918	30	0,067%
7.	Juli	35.027	20	0,057%
8.	Agustus	31.580	20	0,063%
9.	September	45.824	31	0,068%
10.	Oktober	34.975	35	0,100%
11.	November	44.358	21	0,047%
12.	Desember	42.262	16	0,038%
Jumlah		466.908	342	0,073%

Pada Tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa jumlah retak berjumlah 342 produk cacat. Rata- rata cacat keropos sebesar 0,073% diperoleh dari 342 dibagi total produksi 466.908 *joint*. Selanjutnya dilakukan penghitungan DPMO sebagai berikut.

$$DPO = \frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa}} = \frac{342}{466908} = 0,000732$$

$$\text{DPMO} = \left(\frac{\text{Banyak unit yang gagal}}{\text{Banyak unit yang diperiksa} \times \text{CTQ potensial}} \right) \times 1.000.000 = \frac{342}{466908 \times 3} \times 1000000$$

$$= 244,1594$$

4.3.2.2 Menghitung Level Sigma

Nilai level sigma dihitung dengan menggunakan program *Microsoft Excel*. Berikut merupakan perhitungan nilai sigma berdasarkan *Microsoft Excel* dari masing-masing jenis cacat potensial:

1. Cacat pipa retak setelah proses *brazing*

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000}\right) + 1.5$$

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - 691,7851}{1.000.000}\right) + 1.5 = 4,698057$$

Dari hasil perhitungan nilai sigma untuk jenis cacat pipa retak setelah proses *brazing* bernilai masih belum mendekati sigma enam, sehingga masih perlu diperbaiki agar nantinya dapat menuju sigma enam.

2. Cacat pipa keropos setelah proses *brazing*

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000}\right) + 1.5$$

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - 387,6567}{1.000.000}\right) + 1.5 = 4,861461$$

Dari hasil perhitungan nilai sigma untuk jenis cacat pipa keropos setelah proses *brazing* bernilai masih belum mendekati sigma enam, sehingga masih perlu diperbaiki agar nantinya dapat menuju sigma enam.

3. Cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000}\right) + 1.5$$

$$\text{Nilai Sigma} = \text{Normsinv}\left(\frac{1.000.000 - 244,1594}{1.000.000}\right) + 1.5 = 4,987083$$

Dari hasil perhitungan nilai sigma untuk jenis cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing* bernilai masih belum mendekati sigma enam, sehingga masih perlu diperbaiki agar nantinya dapat menuju sigma enam.

4.3.2.3 Menghitung Kapabilitas Proses

Penghitungan kapabilitas proses berguna untuk mengetahui kemampuan suatu proses dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan yang dibutuhkan pelanggan. Berikut ini merupakan perhitungan nilai kapabilitas proses untuk setiap jenis cacat potensial yang terjadi pada proses *brazing*.

1. Cacat pipa retak setelah proses *brazing*

$$CP = \frac{\text{Level Sigma}}{3} = \frac{4.698057}{3} = 1,566019$$

Dari perhitungan kapabilitas proses dapat diketahui bahwa kapabilitas proses *brazing* dilihat dari cacat pipa retak setelah proses *brazing* terletak pada jangkauan nilai antara 1,00 – 1,99 dengan nilai 1,566019. Maka proses dianggap cukup mampu. Namun kapabilitas proses saat ini nilainya masih kurang dari 2 sehingga masih perlu upaya untuk peningkatan kualitas agar target tingkat kegagalan yang sangat kecil bisa tercapai.

2. Cacat pipa keropos setelah proses *brazing*

$$CP = \frac{\text{Level Sigma}}{3} = \frac{4.861461}{3} = 1,620487$$

Dari perhitungan kapabilitas proses dapat diketahui bahwa kapabilitas proses *brazing* dilihat dari cacat pipa keropos setelah proses *brazing* terletak pada jangkauan nilai antara 1,00 – 1,99 dengan nilai 1,620487. Maka proses dianggap cukup mampu. Namun kapabilitas proses saat ini nilainya masih kurang dari 2 sehingga masih perlu upaya untuk peningkatan kualitas agar target tingkat kegagalan yang sangat kecil bisa tercapai.

3. Cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing*

$$CP = \frac{\text{Level Sigma}}{3} = \frac{4.987083}{3} = 1,662361$$

Dari perhitungan kapabilitas proses dapat diketahui bahwa kapabilitas proses *brazing* dilihat dari cacat lubang pada daerah *start* dan *stop* di daerah *brazing* terletak pada jangkauan nilai antara 1,00 – 1,99 dengan nilai 1,662361. Maka proses dianggap cukup mampu. Namun kapabilitas proses saat ini nilainya masih kurang dari 2 sehingga masih perlu upaya untuk peningkatan kualitas agar target tingkat kegagalan yang sangat kecil bisa tercapai.

Penghitungan tahap *measure* dapat dilihat dari DPMO, level sigma dan kapabilitas proses masih perlu upaya peningkatan kualitas agar target tingkat kegagalan yang sangat kecil bisa tercapai. Berikut akan ditunjukkan pada Tabel 4.8 rekapitulasi dari tahap *measure*.

Tabel 4.8
Rekapitulasi dari Tahap *Measure*

No.	Jenis Cacat	Jumlah <i>joint</i>	Jumlah cacat	DPMO	Level Sigma	Kapabilitas Proses
1.	Pipa retak setelah proses <i>brazing</i>	466.908	969	691,7851	4,698057	1,566019
2.	Pipa keropos setelah proses <i>brazing</i>	466.908	543	387,6567	4,861461	1,620487
3.	Lubang pada daerah <i>start</i> dan <i>stop</i> di daerah <i>brazing</i>	466.908	342	244,1594	4,987083	1,662361
Total			1.854	1323,60122	4,505987	1,501996

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.8 nilai DPMO dari keseluruhan jenis cacat dengan angka 1323,60122. Level sigma dengan nilai sigma 4,505987 masih belum menunjukkan sigma enam, sehingga masih diperlukan perbaikan agar nantinya dapat menuju sigma enam. Kapabilitas proses dapat diketahui bahwa kapabilitas proses *brazing* secara keseluruhan terletak pada jangkauan nilai antara 1,00 – 1,99 dengan nilai 1,501996. Maka proses dianggap cukup mampu. Namun kapabilitas proses saat ini nilainya masih kurang dari 2 sehingga masih perlu upaya untuk peningkatan kualitas agar target tingkat kegagalan yang sangat kecil bisa tercapai.

4.3.3 *Analyze*

Tahap *analyze* ini merupakan tahapan setelah *measure* dari pendekatan *six sigma* yang merupakan tahap mencari akar penyebab masalah akan dianalisis dan menentukan sumber variasi terbesar dari penyebab kegagalan yang akan menjadi bahasan untuk dilakukannya perbaikan. Metode yang menjadi bahasan pada tahap ini adalah FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dengan ditambahkan AHP (*Analythical Hierarchy Process*) dilanjutkan dengan *Fishbone Diagram* (Diagram *Ishikawa*).

4.3.3.1 Analisis FMEA

FMEA merupakan suatu prosedur tersruktur yang dilakukan untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak banyaknya mode kegagalan. Pembuatan FMEA dilakukan untuk menganalisa kegagalan proses potensial serta mengevaluasi kegagalan tersebut agar nantinya dapat dilakukan perbaikan.

Setelah diketahui penghitungan mengenai kondisi yang terjadi dari cacat pada proses *brazing*, selanjutnya dilakukan diskusi dengan pihak perusahaan (Staff Bagian *Industrial Engineering* dan pembimbing lapangan) agar dapat ditentukannya nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) pada masing-masing cacat tanpa melalui penyebaran kuisioner. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa untuk mendapatkan satu nilai yang tepat, sebaiknya tidak didapatkan dari perhitungan kuantitatif, akan tetapi dihasilkan dari kesepakatan seluruh yang diperoleh peserta diskusi, sehingga nilai yang dihasilkan memiliki tingkat yang sama untuk setiap peserta. Sebagai contoh, Staff Bagian *Industrial Engineering* memberikan nilai “8”, sedangkan pembimbing lapangan memberikan nilai “6”. Nilai yang sesuai bukan hasil dari rata-rata 8 dan 6, tetapi perlu adanya diskusi dari kedua pihak untuk mendapatkan nilai yang dapat diterima dari kedua pihak tersebut.

Pada tahap awal, dibuat parameter untuk masing-masing *rating* yang sesuai dengan kondisi perusahaan. Hal ini dilakukan agar berkurangnya subjektivitas dalam pemilihan nilai. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing kriteria S, O, dan D yang telah disesuaikan dengan kondisi perusahaan.

1. *Severity*

Severity adalah nilai yang memiliki *range* antara 1-10 yang menunjukkan tingkat keseriusan dari cacat proses *brazing* yang terjadi. Semakin besar nilai yang ditentukan maka semakin besar tingkat keseriusan pada cacat tersebut. Parameter nilai *severity* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9

Parameter *Rating Severity*

Rating	Effect	Parameter
1	<i>Negligible Severity</i> (pengaruh buruk yang dapat diabaikan)	Kegagalan proses tidak berdampak terhadap cacat produk
2	<i>Mild Severity</i> (pengaruh buruk yang ringan)	Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Tidak butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i>
3		Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Tidak butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> hanya untuk menunggu hasil <i>brazing</i> dingin
4	<i>Moderate Severity</i> (pengaruh buruk yang sedang)	Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> $\leq 0,25$ jam/Unit
5		Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> $\geq 0,25$ jam/Unit
6		Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> $\geq 0,50$ jam/Unit
7	<i>High Severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi)	Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> $\geq 0,75$ jam/Unit
8		Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> ≥ 1 jam/Unit
9	<i>Potential Severity</i> (pengaruh buruk yang sangat tinggi)	Kecacatan dapat dilakukan <i>rework</i> Butuh proses tambahan sebelum <i>rework</i> Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan <i>rework</i> ≥ 2 jam/Unit
10		Kecacatan tidak dapat dilakukan <i>rework</i>

Berdasarkan Tabel 4.9, dapat diketahui bahwa jika suatu kegagalan tidak berpengaruh

terhadap cacat produk maka kegagalan tersebut memiliki *rating* nilai 1 untuk kriteria *severity*. Sedangkan jika suatu kegagalan menyebabkan cacat yang tidak dapat daur ulang maka kegagalan tersebut memiliki *rating* nilai 10 untuk kriteria *severity*. Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan *rework* ≥ 2 jam/ Unit merupakan hasil diskusi dengan pihak perusahaan. Jumlah waktu didapatkan dari estimasi waktu terlama yang diperlukan untuk persiapan *rework*. Oleh karena itu, waktu yang dibutuhkan untuk persiapan *rework* ≥ 2 jam/ Unit mendapatkan *rating* nilai 9 untuk kriteria *severity*.

2. Occurrence

Occurrence adalah nilai yang memiliki *range* antara 1-10 yang menunjukkan frekuensi cacat proses *brazing* yang terjadi. Semakin besar nilai yang ditentukan maka semakin besar jumlah terjadinya cacat tersebut. Parameter nilai *occurrence* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10
Parameter *Rating Occurrence*

Rating	Effect	Parameter
1	Hampir tidak Ada	1 kali dalam 1 tahun
2	Sangat Rendah	3 kali dalam 1 tahun
3	Rendah	5 kali dalam 1 tahun
4	Sedang	10 kali dalam 1 tahun
5		15 kali dalam 1 tahun
6		20 kali dalam 1 tahun
7	Tinggi	30 kali dalam 1 tahun
8		50 kali dalam 1 tahun
9	Sangat Tinggi	75 kali dalam 1 tahun
10		100 kali dalam 1 tahun

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui jika penyebab kegagalan hanya terjadi sekitar 1 kali dalam 1 tahun maka penyebab kegagalan tersebut memiliki *rating* nilai 1 untuk kriteria *occurrence*. Sedangkan jika penyebab kegagalan terjadi sekitar 100 kali dalam 1 tahun maka penyebab kegagalan tersebut memiliki *rating* nilai 10 untuk kriteria *occurrence*. Berdasarkan hasil diskusi dengan pihak perusahaan, frekuensi sebanyak 100 kali dalam 1 tahun merupakan estimasi terbanyak terjadinya penyebab kegagalan untuk 1 penyebab kegagalan. Oleh karena itu, 100 kali dalam 1 tahun dijadikan sebagai *rating* tertinggi pada kriteria *occurrence*.

3. Detection

Detection adalah nilai yang memiliki *range* antara 1-10 yang menunjukkan kemampuan dari sistem untuk mendeteksi terjadinya cacat tersebut. Semakin besar nilai yang ditentukan maka semakin besar kesulitan dalam mendeteksi hal tersebut. Parameter nilai *detection* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11
Parameter *Rating Detection*

Rating	Effect	Parameter
1	Hampir Pasti	Kegagalan proses sangat mudah dideteksi.
2	Sangat Tinggi	Kegagalan proses cukup mudah dideteksi secara langsung.
3	Tinggi	Kegagalan proses dapat dideteksi sebelum berpindah proses.
4	Agak Tinggi	Adanya sistem pencegahan dan dapat dideteksi secara visual dengan jarak sedang.
5	Sedang	Adanya sistem pencegahan dan dapat dideteksi secara visual dengan jarak dekat.
6	Rendah	Adanya sistem pencegahan dan tidak dapat dideteksi secara visual.
7	Sangat Rendah	Tidak adanya sistem pencegahan dan dapat dideteksi secara visual dengan jarak jauh.
8		Tidak adanya sistem pencegahan dan dapat dideteksi secara visual dengan jarak sedang.
9		Tidak adanya sistem pencegahan dan dapat dideteksi secara visual dengan jarak dekat.
10	Hampir Tidak Mungkin	Tidak adanya sistem pencegahan dan cara mendeteksi penyebab kegagalan proses sangat sulit.

Berdasarkan Tabel 4.11, dapat diketahui jika penyebab kegagalan dapat dideteksi secara sangat mudah langsung, maka penyebab kegagalan tersebut memiliki *rating* nilai 1 untuk kriteria *detection*. Sedangkan jika penyebab tidak memiliki sistem pencegahan serta cara mendeteksi kegagalan proses sangat sulit, maka penyebab kegagalan tersebut memiliki *rating* nilai 10 untuk kriteria *detection*. Parameter-parameter pada kriteria *detection* ini merupakan hasil diskusi dengan pihak perusahaan.

Setelah menentukan parameter dari masing-masing kriteria, maka akan dilakukan penilaian dari masing-masing kriteria tersebut. Berikut Tabel 4.12 merupakan hasil diskusi dengan pihak perusahaan mengenai nilai pada masing-masing *mode of failure*.

Tabel 4.12
Nilai *Mode of Failure*

No	Jenis CTQ	Mode of failure	Effect of failure	Severity	Failure cause	Occurrence	Current process control	Detection	RPN (SxOxD)
1	Pipa retak setelah proses <i>brazing</i>	Tingkat kelelahan operator	gosong, less filler, over filler	6	posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6	diberikan waktu istirahat	5	180
		Posisi operator tidak nyaman	gosong, less filler, over filler	6	Kursi dan tempat melakukan proses tidak nyaman	6	diberikan waktu istirahat	5	180
		Sambungan cacat	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	7	Operator tidak fokus	6	diberikan waktu istirahat	5	210
					posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6			210
					material yang tidak sesuai	2	dilakukan pengecekan material	4	56

No	Jenis CTQ	Mode of failure	Effect of failure	Severity	Failure cause	Occurrence	Current process control	Detection	RPN (SxOxD)
					Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	4	112
			Reject	10	operator lalai dalam pengecekan	1	melakukan <i>final checking</i>	10	100
2	Pipa keropos setelah proses <i>brazing</i>	pengisian <i>filler</i> dari proses <i>brazing</i> belum penuh / <i>brazing</i> belum sempurna	perlu dilakukan <i>rework</i>	3	Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	3	36
					mesin sudah memasuki waktu diperbaiki	3	dilakukan <i>maintenance</i>	3	27
					logam las kotor	2	dilakukan pembersihan logam las	3	18
					posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6	diberikan waktu istirahat	3	48
		pipa <i>coretube</i> menjadi hitam	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	5	Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	4	80
					posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6	diberikan waktu istirahat	5	150
					Operator melakukan kesalahan saat proses <i>brazing</i>	4	dilakukan check pada proses berikutnya	4	80
		Setting api / mesin terlalu besar	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	4	Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	4	64
					operator kurang berpengalaman	6	pelatihan awal pekerja	4	96
		3	Lubang pada daerah start dan stop di daerah <i>brazing</i>	salah penyambungan pola dengan <i>u-bend</i>	7	Operator melakukan kesalahan saat proses <i>brazing</i>	4	dilakukan check pada proses berikutnya	4
Operator tidak fokus	6					diberikan waktu istirahat	4	168	
Reject	10			operator lalai dalam pengecekan	1	melakukan <i>final checking</i>	10	100	
<i>u-bend</i> tidak masuk ke lubang pipa dengan sempurna	hanya diperlukan mencari <i>u-bend</i> pengganti yang cocok			1	operator tidak fokus	5	dilakukan pencocokan manual sebelum <i>brazing</i>	2	10

Berdasarkan Tabel 4.12 dapat diketahui nilai dari *rating severity* tertinggi adalah (10) pada *mode of failure* sambungan cacat dan salah penyambungan pola dengan *u-bend*. Hal ini disesuaikan dengan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan efek dari gagal tersebut adalah produk tersebut *reject*. Sehingga dapat digolongkan dalam tingkat *severity* tertinggi. Selanjutnya, nilai dari *rating severity* tertinggi kedua (7) pada *mode of failure* sambungan tidak kuat dan salah penyambungan pola dengan *u-bend* juga.

Meskipun *mode of failure* dari nilai *severity* tersebut sama, tetapi memiliki efek yang berbeda. Efek dari gagal tersebut seperti cacat dapat dilakukan *rework*, membutuhkan proses tambahan sebelum dilakukan *rework* seperti dilakukan pengeringan setelah *testing coil process*, lalu dilakukan pemotongan pada bagian yang sambungan cacat atau pada bagian yang salah dalam penyambungan pola dengan *u-bend*, waktu yang dibutuhkan untuk persiapan *rework* $\geq 0,75$ jam/Unit. Hal tersebut terjadi karena memiliki penyebab yang berbeda dan dampak yang berbeda. Sedangkan untuk nilai dari *rating severity* terendah adalah (1) berada pada *mode of failure u-bend* tidak masuk ke lubang pipa dengan sempurna. Hal ini dikarenakan efek dari kegagalan tersebut tidak membutuhkan proses tambahan sebelum dilakukan *rework* seperti pemotongan pada daerah yang gagal terlebih dahulu.

Nilai pada *rating occurrence* tertinggi adalah (6) pada Tabel 4.12 terjadi pada penyebab operator tidak fokus, operator kurang berpengalaman, posisi operator yang tidak nyaman saat melakukan proses *brazing*, dan kursi serta tempat *brazing* yang kurang nyaman. Penyebab tersebut terjadi pada beberapa *mode of failure*. Hal ini telah disesuaikan dengan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu frekuensi terjadinya kegagalan operator tidak fokus, operator kurang berpengalaman, posisi operator yang tidak nyaman saat melakukan proses *brazing*, dan kursi serta tempat *brazing* yang kurang nyaman dapat terjadi sekitar 20 kali dalam setahun. Sedangkan nilai pada *rating occurrence* terendah adalah (1) terjadi pada penyebab kegagalan operator lalai dalam melakukan pengecekan dengan frekuensi terjadinya kegagalan tersebut dalam setahun hanya terjadi masing-masing 1 kali. Sehingga nilai pada *rating occurrence* untuk operator dalam melakukan pengecekan diberi nilai 1.

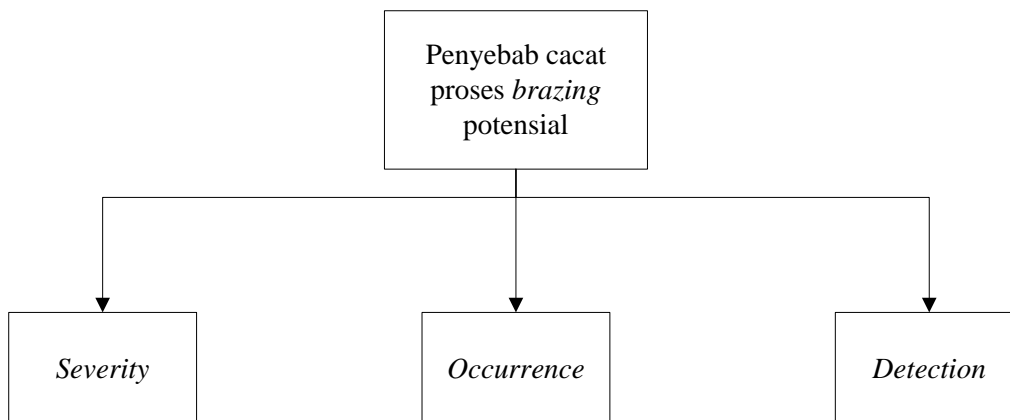
Nilai pada *rating detection* tertinggi adalah (10) terjadi pada penyebab kegagalan operator lalai dalam melakukan pengecekan. Hal ini dikarenakan sudah ada sistem pencegahan berupa *final checking* tetapi sulitnya mendeteksi bahwa operator tersebut lalai dalam pengecekan sehingga masih pernah terjadi barang yang tidak sempurna sampai pada tangan konsumen dan melakukan komplain pada pihak perusahaan akibat kelalaian tersebut. Sehingga diberi nilai *rating detection* 10. Sedangkan nilai pada *rating detection* terendah adalah (2) terjadi pada penyebab kegagalan operator salah mengambil *u-bend*. Perusahaan sudah memberikan tindakan pencegahan berupa pencocokan sebelum proses *brazing*, Akan tetapi masih terjadi kesalahan tersebut. Selain itu, kegagalan ini cukup mudah dideteksi secara langsung. Sehingga diberi nilai pada *rating detection* terhadap operator salah mengambil *header* diberikan nilai 2.

4.3.3.2 *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Setelah didapatkan nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) dari masing-masing *mode of failure*. Selanjutnya dilakukan pembobotan dari kriteria S, O, dan D dengan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hal ini dilakukan karena pada umumnya risiko yang tersembunyi antar kejadian tidak bisa disebut sama meskipun memiliki nilai RPN dari jenis kegagalannya sama. Selain itu, faktor dalam FMEA (S, O, dan D) juga memiliki bobot yang sama, tetapi pada kondisi nyata justru sering memiliki bobot tersendiri dari masing-masing faktor. Oleh karena itu, untuk melakukan validasi dari hasil perhitungan RPN dibutuhkan pembobotan pada kriteria S, O, dan D yang sesuai dengan kondisi lapangan. Langkah yang perlu dilakukan terdiri dari beberapa macam seperti penyusunan kriteria, pembobotan terhadap kriteria, mengukur konsistensi bobot kriteria.

1. Penyusunan kriteria

Pada langkah awal dalam menentukan bobot kriteria, dilakukan penyusunan hirarki dari permasalahan terlebih dahulu. Berikut akan ditunjukkan pada Gambar 4.23 susunan hierarki dari penyebab cacat proses *brazing* potensial.



Gambar 4.20 Hierarki penyebab cacat proses *brazing* potensial

Hierarki penyebab cacat proses *brazing* potensial yang telah disusun diajukan dalam wawancara pada pihak perusahaan untuk menentukan bobot tingkat kepentingan pada kriteria-kriteria saat perhitungan RPN. Kemudian dilakukan perbandingan bobot tingkat kepentingan, penyusunan matriks berpasangan antar kriteria, pembobotan terhadap kriteria, mengukur konsistensi bobot kriteria.

2. Pembobotan terhadap kriteria

Pada Tabel 4.13 berikut akan ditunjukkan hasil diskusi dengan staf bagian *industrial engineering* yang juga fokus memperhatikan proses *brazing* untuk mengetahui bobot tingkat kepentingan kriteria terhadap keberlangsungan proses produksi. Diskusi diawali dengan memberikan pertanyaan mengenai bobot tingkat kepentingan dari masing-masing kriteria.

Setiap bobot kriteria diberikan penilaian untuk membandingkan bobot tingkat kepentingan dengan skala 1-9.

Tabel 4.13

Hasil Diskusi Bobot Tingkat Kepentingan

Kriteria	Skor Penilaian	Kriteria
<i>Severity</i>	1/4	<i>Occurrence</i>
<i>Severity</i>	1/3	<i>Detection</i>
<i>Occurrence</i>	2	<i>Detection</i>

Dilihat dari Tabel 4.13, dapat diketahui skor penilaian *occurrence* 4 kali lebih penting dibandingkan *severity* dan nilai *occurrence* 2 kali lebih penting dibandingkan dengan *detection*. Sedangkan bila dibandingkan dengan *severity*, *detection* nilainya 3 kali. Hal ini dikarenakan frekuensi penyebab kegagalan dirasa 2 kali lebih penting daripada adanya sistem pencegahan atau cara dalam pendeteksian kegagalan. Kondisi di perusahaan, jumlah cacat yang banyak menyebabkan kerugian untuk perusahaan karena jumlah tersebut akan menjadi faktor yang meningkatkan kerugian perusahaan. Sedangkan dari segi *detection* pada perusahaan merupakan hal yang sudah menjadi kewajiban tetapi juga penting untuk mengatasi suatu kegagalan yang masih terjadi. Hal ini dikarenakan, perusahaan sudah memiliki banyak cara untuk mendeteksi kegagalan, tetapi frekuensi jumlah cacat yang banyak perlu diturunkan. Sistem pencegahan di perusahaan telah berjalan dengan efektif, tetapi kegagalan masih banyak artinya kegagalan tersebut perlu diturunkan. Sedangkan dilihat dari segi *severity*, pada perusahaan berpengaruh terhadap mudah tidaknya efek dari kegagalan untuk dilakukan *rework*, hal ini juga menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Akan tetapi, kerugian yang dimunculkan tidak sebesar pengaruh dari frekuensi terjadinya kegagalan tersebut. Sehingga didapatkan skor penilaian seperti penjelasan diatas.

3. Mengukur konsistensi bobot kriteria

Langkah yang perlu dilakukan berikutnya adalah mengukur konsistensi bobot kriteria. Diawali pembuatan matriks perbandingan berpasangan yang terdiri dari perbandingan antar kriteria yang disajikan pada Tabel 4.14. Tabel 4.15 Matriks perbandingan antar kriteria dengan skor penilaian dari Tabel 4.14. Dalam matriks perbandingan berpasangan dengan perhitungan antar kriteria kolom yang dilanjutkan penjumlahan seperti pada Tabel 4.15.

Tabel 4.14

Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	<i>Severity</i>	<i>Occurrence</i>	<i>Detection</i>
<i>Severity</i>	1	1/4	1/3
<i>Occurrence</i>	4	1	2
<i>Detection</i>	3	1/2	1

Dilihat dari Tabel 4.14, diketahui bahwa *severity* 1/4 *occurrence*. Dapat diartikan *severity* 4 kali dianggap kalah penting dibandingkan dengan *occurrence*. Atau dapat

dikatakan jika nilai *severity* dibandingkan *occurrence* adalah 1/4, maka *occurrence* dibandingkan dengan *severity* akan bernilai 4 kali lebih penting.

Tabel 4.15

Matriks Perbandingan Berpasangan dengan Jumlah

Kriteria	Severity	Occurrence	Detection
<i>Severity</i>	1	1/4	1/3
<i>Occurrence</i>	4	1	2
<i>Detection</i>	3	1/2	1
Jumlah	7	7/4	10/3

Berdasarkan Tabel 4.15 dapat diketahui jumlah dari kolom *severity* adalah sebesar 7. Nilai tersebut diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

$$Jumlah_{Severity} = 1 + 4 + 3$$

$$Jumlah_{Severity} = 7$$

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai pada Tabel 4.15, dilakukan normalisasi untuk masing-masing nilai kriteria. Hasil dari perhitungan normalisasi matriks perbandingan masing-masing nilai kriteria disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16

Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	Severity	Occurrence	Detection	Skor Bobot
<i>Severity</i>	0,125	0,143	0,100	0,123
<i>Occurrence</i>	0,500	0,571	0,600	0,557
<i>Detection</i>	0,375	0,286	0,300	0,320

Pada Tabel 4.16 diketahui bahwa nilai kriteria *occurrence* memiliki bobot terbesar yaitu 0,557. Berikut akan dicontohkan cara untuk mendapatkan nilai normalisasi pada *severity-occurrence* sebesar 0,143 didapat dengan cara sebagai berikut.

$$Normalisasi\ severity - occurrence = \frac{1/4}{7/4}$$

$$Normalisasi\ severity - occurrence = 0,143$$

Sedangkan untuk menghitung nilai skor bobot pada kriteria *severity* sebesar 0,123 didapat dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Skor\ bobot\ severity = (0,125 + 0,145 + 0,100)/3$$

$$Skor\ bobot\ severity = 0,123$$

Selanjutnya untuk mengetahui konsistensi perbandingan berpasangan antar kriteria dilakukan uji konsistensi ditinjau dari Persamaan 2-6 dan 2-7. Nilai *Index Random* untuk tabel dengan ukuran matriks 3 berdasarkan Tabel 2.8 adalah 0,58. Berikut merupakan perhitungan uji konsistensi matriks.

$$\lambda\ maks = (7 \times 0,123) + (1,75 \times 0,557) + (3,33 \times 0,320)$$

$$\lambda\ maks = 3,023413$$

$$CI = \frac{3,023413-3}{3} = 0,007804$$

$$CR = \frac{0,007804}{0,58} = 0,013456$$

Hasil perhitungan didapat nilai 0,013456 artinya nilai $CR \leq 10\%$ maka matriks perbandingan berpasangan kriteria disebut konsisten. Hasil dari skor bobot dapat dipergunakan untuk penentuan penyebab cacat proses *brazing* potensial.

4.3.3.3 Melakukan Konfirmasi Penghitungan RPN

Setelah didapat nilai dari *rating severity*, *occurrence*, dan *detection* pada masing-masing *mode of failure* serta menentukan bobot dari masing-masing kriteria tersebut, nilai *Risk Priority Number* (RPN) kemudian dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian masing-masing kriteria bobotnya seperti pada Persamaan 2-5. Hal ini bertujuan untuk validasi atau mengatasi kelemahan FMEA karena setaranya bobot *severity*, *occurrence*, dan *detection* (Aslani, et all: 2014). Sehingga didapat penyebab cacat proses *brazing* potensial dengan nilai RPN tertinggi. Tabel 4.17 hasil perhitungan RPN terhadap masing-masing nilai *mode of failure*.

Tabel 4.17
RPN Terbobot

No	Jenis CTQ	Mode of failure	Effect of failure	Severity (0.123)	Failure cause	Occurrence (0.557)	Current process control	Detection (0.320)	RPN (SxOxD)
1	Pipa retak setelah proses <i>brazing</i>	Tingkat kelelahan operator	gosong, less filler, over filler	6	posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6	diberikan waktu istirahat	5	5.68
		Posisi operator tidak nyaman	gosong, less filler, over filler	6	Kursi dan tempat melakukan proses tidak nyaman	6	diberikan waktu istirahat	5	5.68
		Sambungan cacat	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	7	Operator tidak fokus	6	diberikan waktu istirahat	5	5.803
					posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6			5.803
					material yang tidak sesuai	2	dilakukan pengecekan material	4	3.255
					Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	4	4.369
			Reject	10	operator lalai dalam pengecekan	1	melakukan <i>final checking</i>	10	4.987
2	Pipa keropos setelah proses <i>brazing</i>	pengisian filler dari proses <i>brazing</i> belum penuh / <i>brazing</i> belum sempurna	perlu dilakukan <i>rework</i>	3	Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	3	3.557
					mesin sudah memasuki waktu diperbaiki	3	dilakukan <i>maintenance</i>	3	3

No	Jenis CTQ	Mode of failure	Effect of failure	Severity (0.123)	Failure cause	Occurrence (0.557)	Current process control	Detection (0.320)	RPN (SxOxD)
					logam las kotor	2	dilakukan pembersihan logam las	3	2.443
					posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6	diberikan waktu istirahat	3	4.671
		pipa <i>coretube</i> menjadi hitam	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	5	Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	4	4.123
					posisi operator tidak nyaman saat melakukan <i>brazing</i>	6	diberikan waktu istirahat	5	5.557
					Operator melakukan kesalahan saat proses <i>brazing</i>	4	dilakukan check pada proses berikutnya	4	4.123
		Setting api / mesin terlalu besar	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	4	Operator salah menyetel mesin	4	dilakukan penyetelan mesin secara berkala	4	4
					operator kurang berpengalaman	6	pelatihan awal pekerja	4	4.622
		3	Lubang pada daerah start dan stop di daerah <i>brazing</i>	salah penyambungan pola dengan <i>u-bend</i>	perlu dilakukan <i>rework</i> dan ada proses tambahan sebelumnya	7	Operator melakukan kesalahan saat proses <i>brazing</i>	4	dilakukan check pada proses berikutnya
Operator tidak fokus	6						diberikan waktu istirahat	4	5.483
<i>Reject</i>	10			operator lalai dalam pengecekan	1	melakukan <i>final checking</i>	10	4.987	
<i>u-bend</i> tidak masuk ke lubang pipa dengan sempurna	hanya diperlukan mencari <i>u-bend</i> pengganti yang cocok			1	operator tidak fokus	5	dilakukan pencocokan manual sebelum <i>brazing</i>	2	3.548

Pada Tabel 4.17 dapat diketahui bahwa nilai RPN tertinggi adalah (5,803) terjadi pada *mode of failure* sambungan cacat dan *failure cause* operator tidak fokus dan operator tidak nyaman saat melakukan proses *brazing*. Berikut merupakan contoh perhitungan RPN pada baris yang memiliki nilai terbesar.

$$RPN = (w_s \times S) + (w_o \times O) + (w_D \times D)$$

$$RPN = (0,123 \times 7) + (0,557 \times 6) + (0,32 \times 5)$$

$$RPN = 5.803$$

Berdasarkan Tabel 4.17, tiga nilai RPN tertinggi terjadi pada *mode of failure* yaitu sambungan cacat, posisi operator tidak nyaman dan tingkat kelelahan operator. *Failure cause* yang menjadi penyebab potensial permasalahan adalah posisi operator tidak nyaman saat melakukan proses *brazing*.

Penelitian ini menunjukkan hasil yang sama antara analisis dengan FMEA dan dengan pembobotan AHP dengan *mode of failure* tertinggi yaitu sambungan cacat. Sehingga

penelitian ini dengan atau tanpa AHP dapat mengambil keputusan, tetapi penggunaan AHP dapat digunakan lebih baik bila nilai RPN sama dan menentukan prioritas.

4.3.3.4 Identifikasi Akar Penyebab Masalah

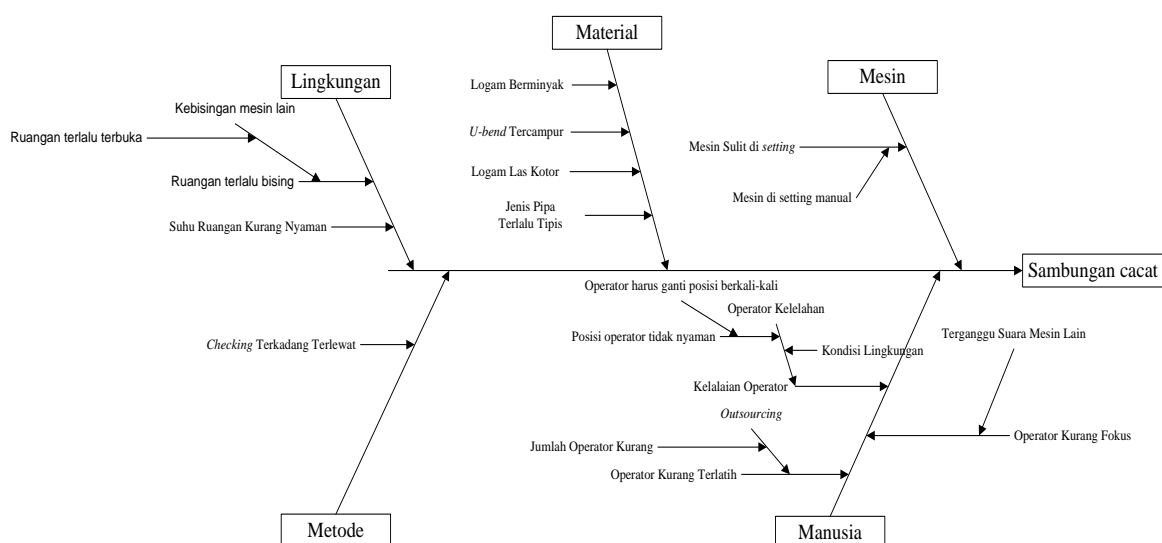
Setelah diperoleh nilai RPN tertinggi dari hasil pembobotan masing-masing kriteria, selanjutnya dilakukan identifikasi akar penyebab masalah dari hasil RPN tertinggi. Berikut langkah-langkah serta identifikasi dengan menggunakan *fishbone* diagram untuk cacat proses *brazing* paling potensial dari nilai RPN tertinggi setelah pembobotan pada kepala diagram:

1. Menempatkan kejadian *defect* proses *brazing* paling potensial dari nilai RPN tertinggi setelah pembobotan pada kepala diagram.

Hasil perhitungan RPN setelah dibobotkan, yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada *mode of failure* sambungan cacat. Setelah diperoleh hasil tersebut, *mode of failure* paling potensial tersebut diletakkan pada bagian kepala diagram pada *fishbone* diagram yang dianalisis berdasarkan beberapa faktor.

2. Menganalisis penyebab cacat tersebut berdasarkan faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan.

Analisis penyebab cacat ini dilakukan dengan wawancara kepada bagian *industrial engineering*, menanyakan berkaitan penyebab-penyebab dari *mode of failure* yang memiliki nilai RPN tinggi. Berikut ditunjukkan pada Gambar 4.24 merupakan *fishbone* diagram yang menyebabkan adanya cacat potensial pada proses *brazing* dari jenis cacat sambungan cacat yang paling penting untuk ditangani terlebih dahulu dari hasil pembobotan kriteria sebelumnya.



Gambar 4.21 Fishbone diagram sambungan cacat

3. Mengidentifikasi masing-masing faktor hingga penyebab yang paling kritis.

Identifikasi hingga penyebab paling kritis yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 dijelaskan sebagai berikut.

a. Faktor Metode

Faktor dari metode yang menyebabkan sambungan tidak kuat antara lain yaitu *checking* yang terkadang terlewat, metode *checking* yang biasa dilakukan adalah dengan memeriksa bagian-bagian luar. Tetapi dalam pelaksanaannya, beberapa bagian membutuhkan perhatian tersendiri yang bila terlewat berdampak fatal bahkan bisa sampai *reject*.

b. Faktor Manusia

Faktor dari manusia yang menyebabkan sambungan tidak kuat antara lain:

- Operator kurang terlatih

Operator yang ada di perusahaan *heat exchanger* Pandaan pada umumnya mendapatkan pelatihan sebelum akhirnya menjadi operator, tetapi masih terdapat operator yang kurang terlatih adalah disebabkan operator tersebut *outsourcing* termasuk pada proses *brazing* ini. Sehingga masih sangat memungkinkan bila operator belum terlatih dan kurang pengalaman. *Outsourcing* disebabkan karena jumlah operator yang relatif kurang.

- Operator kurang fokus

Operator yang kurang fokus disebabkan karena adanya gangguan dari luar dirinya yaitu suara dari mesin lain. Hal ini yang menyebabkan operator tidak fokus dalam menyelesaikan tugasnya.

- Kelalaian Operator

Operator yang lalai disebabkan karena operator tersebut kelelahan dalam menyelesaikan tugasnya. Kelelahan tersebut disebabkan karena faktor kondisi tempat kerja yang kurang membuat nyaman, posisi duduk operator tidak nyaman saat melakukan *brazing*, karena proses *brazing* dilakukan pada beberapa tempat dari satu *coil* sehingga operator perlu berubah posisi berkali-kali untuk menyelesaikan tugasnya. Oleh karenanya, hal yang terjadi adalah operator merasa tidak nyaman dan menyebabkan kelelahan.

c. Faktor Mesin

Faktor dari mesin yang menyebabkan sambungan cacat antara lain yaitu mesin sulit untuk di *setting* sesuai standar yang telah ditentukan oleh pihak perusahaan untuk melakukan proses *brazing*. Hal ini terjadi karena mesin tersebut di *setting* manual

menyesuaikan dengan bermacam-macamnya jenis ketebalan pipa mulai dari ketebalan 0,4mm, 0,5mm dan seterusnya hingga ukuran paling tebal 1,2mm. Apabila *setting* tidak sesuai dengan ketebalan pipa tersebut sangat memungkinkan menyebabkan sambungan cacat karena mesin yang tidak sesuai *setting* standar.

d. Faktor Material

Faktor dari material yang menyebabkan sambungan tidak kuat antara lain:

- Logam berminyak, setelah selesai dilakukan proses *expand* pada *coil assembly* terkadang masih menyisakan minyak pada pipa, saat dilakukan *brazing* memungkinkan untuk menempelnya minyak pada logam dan hasil *brazing* kurang optimal dan menyebabkan sambungan cacat.
- *U-bend* tercampur, menyebabkan kesalahan saat pengambilan dan tidak sesuai spesifikasi yang telah ditentukan, bila dilakukan proses *brazing* sangat memungkinkan menyebabkan sambungan cacat.
- Logam las kotor, disebabkan karena penyimpanan yang terkadang tidak pada tempatnya dapat menyebabkan tidak bagusnya sambungan dan tidak kuat.
- Jenis pipa terlalu tipis, spesifikasi tidak sesuai dengan yang sudah ditentukan perusahaan terjadi karena pipa tercampur sehingga operator salah mengambil material. Apabila dilakukan proses *brazing* akan menyebabkan sambungan cacat.

e. Faktor Lingkungan

Faktor dari lingkungan yang menyebabkan sambungan tidak kuat antara lain yaitu suhu ruangan yang kurang nyaman, suhu yang panas di daerah perusahaan *heat exchanger* Pandaan pun menjadi salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi kekuatan pada sambungan. Faktor lainnya yaitu ruangan yang terlalu bising, hal tersebut terjadi karena proses *brazing* dilakukan berdekatan dengan mesin-mesin lainnya, kebisingan dari mesin lain disebabkan karena ruangan yang terlalu terbuka dalam melaksanakan proses *brazing* bersamaan dengan proses lainnya sehingga dapat menyebabkan sambungan cacat.

4.3.4 Improve

Tahap *improve* ini merupakan tahapan setelah *analyze* dari pendekatan *six sigma* yang merupakan tahapan dimana solusi yang diperoleh berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya diimplementasikan terhadap permasalahan yang ada untuk perbaikan. Pada tahap ini ditentukan rencana tindakan (*action plan*) untuk meningkatkan kualitas

dengan *six sigma*. Pada analisa dengan menggunakan FMEA yang dibobotkan diperoleh *mode of failure* sambungan cacat, selanjutnya dilakukan analisis *fishbone* diagram dan diperoleh beberapa akar penyebab masalah yaitu dari faktor metode adalah *checking* terkadang terlewat, faktor manusia adalah operator yang kurang fokus, operator yang kurang terlatih dan kelalaian operator, dari faktor mesin yaitu mesin sulit di *setting* karena di *setting* manual menyesuaikan dengan ketebalan pipa *coretube*, faktor material yang masih belum sesuai berupa logam berminyak, *U-bend* tercampur, logam las kotor, jenis pipa terlalu tipis, dari faktor lingkungan yaitu suhu ruangan yang kurang nyaman, suhu yang panas di daerah perusahaan *heat exchanger* Pandaan, ruangan yang terlalu bising. Penyebab tersebut merupakan permasalahan yang menjadi prioritas untuk diselesaikan dari permasalahan proses *brazing*.

4.3.4.1 Rekomendasi Perbaikan

Pada tahap ini diberikan rekomendasi perbaikan dari permasalahan berdasarkan faktor metode adalah *checking* terkadang terlewat, faktor manusia adalah operator yang kurang fokus, operator yang kurang terlatih dan kelalaian operator, dari faktor mesin yaitu mesin sulit di *setting* karena di *setting* manual menyesuaikan dengan ketebalan pipa *coretube*, faktor material yang masih belum sesuai berupa logam berminyak, *U-bend* tercampur, logam las kotor, jenis pipa terlalu tipis, dari faktor lingkungan yaitu suhu ruangan yang kurang nyaman, suhu yang panas di daerah perusahaan *heat exchanger* Pandaan, ruangan yang terlalu bising sebagai upaya mengurangi penyebab cacat pada proses *brazing*. Sehingga rekomendasi yang diberikan untuk menyelesaikan permasalahan dari penyebab tersebut terdiri dari 7 hal yang diringkas menjadi 5 poin berdasar masing-masing faktor. Berikut merupakan penjelasan dari rekomendasi perbaikan.

1. Faktor Metode

Masalah yang terjadi adalah *checking* yang terkadang terlewat. Hal ini mengindikasikan ada metode yang kurang tepat dalam pengecekan. Sehingga direkomendasikan untuk diatur *Standard Operating Prosedure* (SOP) baru yang lebih sesuai dalam pengecekan sehingga tidak ada yang terlewatkan.

2. Faktor Manusia

- Alat pelindung telinga sebagai penyelesaian masalah operator kurang fokus karena kebisingan

Alat pelindung telinga adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi alat pendengaran terhadap kebisingan atau tekanan. Jenis alat pelindung telinga terdiri

dari sumbat telinga (*ear plug*) dan penutup telinga (*ear muff*). Hal ini direkomendasikan guna mengurangi kegagalan akibat kebisingan di tempat kerja.



Gambar 4.22 Alat sumbat telinga

- Memberikan syarat pengalaman kerja atau pelatihan sebelum bekerja

Masalah yang terjadi di perusahaan tersebut berkaitan dengan kurang terlatihnya operator seperti diperoleh dari hasil analisa akar penyebab masalah adalah operator yang sudah terlatih dan memenuhi kompetensi perusahaan hanya sedikit atau dengan kata lain operator masih kurang terlatih. Hal ini terjadi karena perusahaan menganggap bahwa dengan memiliki sedikit operator tetap dengan menambah operator *outsourcing* itu memiliki beban biaya produksi yang lebih kecil daripada memiliki jumlah operator yang sesuai dengan kebutuhan atau bahkan berlebih sehingga perusahaan tidak ingin menambah jumlah operator.

Operator *outsourcing* saat sebelum terekrut perlu diberikan syarat pengalaman kerja atau pelatihan merupakan salah satu solusi yang dapat diberikan untuk mengurangi tingkat kegagalan yang terjadi karena kurang terlatihnya operator. Hal tersebut karena selama ini hanya diberikan pengantar saja saat awal masuk, tetapi setelah itu hanya mengerjakan tugasnya tanpa evaluasi dan pemantauan terhadap kontrak secara berkala, sehingga apabila dilakukan maka dapat mengurangi jumlah cacat proses *brazing*.

- Perbaiki kursi kerja

Posisi kerja operator sangatlah mempengaruhi tingkat kenyamanan dari operator tersebut, operator dapat merasa lelah bila posisi kerja tidak sesuai dengan tempat kerja yang seharusnya dia tempati, hal ini terjadi di perusahaan *heat exchanger* Pandaan terkhusus pada proses *brazing*. Posisi kerja saat ini terkadang mengharuskan operator untuk berdiri kemudian duduk kemudian berdiri lagi beberapa kali, hal ini dikarenakan posisi duduk di kursi tidak berubah akan tetapi tempat yang akan di *brazing* tidak hanya satu tempat yang sesuai dengan tempat

duduk sehingga ketika melakukan *brazing* masih perlu berdiri bahkan tidur dengan alas lain agar dapat menyesuaikan posisi *brazing*.

Rekomendasi dari kondisi tersebut adalah perbaikan kursi kerja yang nantinya dapat diubah posisinya lebih fleksibel agar operator tidak perlu berubah-ubah posisi dari kursi hanya tinggal mengatur kursinya saat melakukan proses *brazing*. *Heat exchanger* yang akan di *brazing* dengan posisi yang tidak hanya satu titik, akan sangat dimudahkan dengan adanya kursi yang dapat diubah posisinya dan akan mengurangi tingkat kelelahan yang dirasakan.

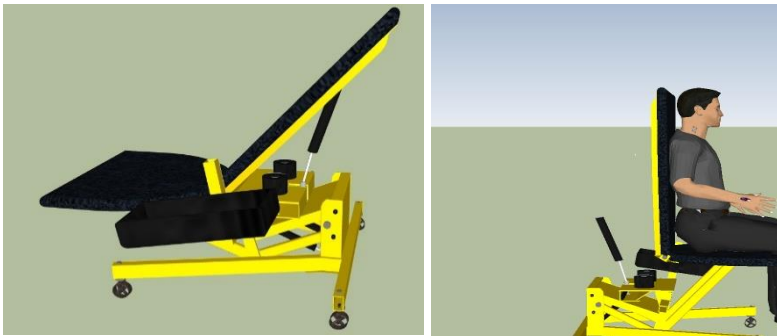
Perbaikan dari kursi kerja perlu ditunjang dengan penentuan beberapa ukuran yang berdasar dari antropometri. Ukuran yang perlu dipertimbangkan yaitu dimensi tinggi dalam posisi duduk dan dimensi panjang popliteal untuk memberikan kenyamanan pada posisi duduk operator. Berikut merupakan dimensi, persentil dan ukuran yang digunakan untuk perbaikan kursi.

Tabel 4.18
Dimensi Perbaikan Kursi Kerja

No.	Dimensi	Persentil	Allowance (cm)	Ukuran (cm)	Total Ukuran (cm)
1.	D8: Dimensi Tinggi dalam Posisi Duduk	50 th	0	82,87	82,87
2.	D14: Dimensi Panjang Popliteal	50 th	0	41,1	41,1

Pada Tabel 4.18 diatas dapat diketahui bahwa perbaikan dimensi kursi kerja menggunakan persentil 50th agar kursi dapat digunakan oleh berbagai ukuran tubuh operator. Ukuran didapatkan dari antropometri Indonesia dengan kriteria semua suku, semua jenis kelamin, namun menggunakan batas umur pekerja dari 17–45 tahun sehingga didapatkan ukuran seperti diatas. Selain itu kursi juga memiliki fitur-fitur pendukung kenyamanan lainnya seperti dapat diubahnya tinggi kursi dan posisi sandaran kursi agar dapat merubah sesuai dengan posisi yang harus dikerjakan menggunakan sistem hidrolik pada tuas di belakang tempat duduk dengan posisi terendah berada pada 15cm diatas dasar roda sedangkan posisi tertinggi berada pada 70cm dan tidak membuat operator lelah. Kemudian terdapat 4 buah roda untuk membuat kursi dapat dijalankan dengan mudah dan tidak terbalik saat berjalan.

Berikut ditunjukkan Gambar 4.23 rekomendasi perbaikan dari kondisi tersebut tentang desain kerja yang akan disarankan kepada perusahaan *heat exchanger* Pandaan untuk mengurangi jumlah cacat yang sudah di analisis.



Gambar 4.23 Rekomendasi perbaikan kursi kerja

3. Faktor Mesin

Masalah yang terjadi adalah mesin yang digunakan berupa mesin manual, sedangkan ketebalan pipa berbeda sehingga *setting* mesin sulit. Hal tersebut berdampak pada hasil produk yang dibuat menjadi tidak sesuai standar. Kondisi tersebut perlu diberikan rekomendasi agar perusahaan dapat membuat standar berdasar ketebalan pipa *coretube* agar dapat mengurangi kegagalan dari faktor mesin *brazing* agar kegagalan yang terjadi karena faktor mesin dapat diminimalisir.

4. Faktor Material

Masalah yang terjadi adalah material yang tidak sesuai berupa logam berminyak, *U-bend* tercampur, logam las kotor, jenis pipa terlalu tipis masih lolos sampai masuk pada proses *brazing*. Hal ini mengindikasikan kurangnya pengecekan saat pemilihan material dikarenakan operator nya yang mengambil material adalah operator proses *coil assembly*, sehingga di rekomendasikan untuk adanya operator khusus pengecekan material untuk setiap *coil* sehingga kegagalan karena faktor material dapat diminimalisir.

5. Faktor lingkungan

Masalah yang terjadi adalah suhu ruangan kurang nyaman tetapi untuk menghasilkan *brazing* yang optimal perlu suhu ruangan yang kurang nyaman, sehingga perlu ada bentuk pemberian kenyamanan lain agar operator berada dalam kondisi sehat dan bugar serta siap dalam lingkungan tersebut, rekomendasi yang diberikan adalah dengan memberikan *fan* pada atap ruangan guna membantu sirkulasi udara di ruangan tersebut agar kondisi lingkungan tersebut dapat dikurangi dengan diberikan kenyamanan lainnya. Sedangkan ruangan terlalu bising karena berdekatan dengan mesin lain serta ruangan tersebut terlalu terbuka sehingga dapat mempengaruhi tingkat fokus dari operator dan dapat menyebabkan sambungan yang tidak kuat bila operator tidak fokus. Rekomendasi yang diberikan untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah diberikan

pembatas ruangan seperti garasi guna menambah kenyamanan operator saat melakukan proses *brazing*.


4.3.4.2 Analisa Rekomendasi

Rekomendasi yang diberikan sangat diperlukan untuk mengurangi jumlah cacat yang ada pada proses *brazing*. Maka perlu dilakukan analisa dari rekomendasi yang diberikan agar sesuai dengan kebutuhan dan dapat meningkatkan kualitas dari proses *brazing* itu sendiri. Rekomendasi yang diberikan yaitu diatur SOP baru yang lebih sesuai dalam pengecekan, alat pelindung telinga untuk operator, memberikan syarat pengalaman kerja atau pelatihan sebelum bekerja, memberikan perbaikan kursi kerja untuk proses *brazing*, membuat standar berdasar ketebalan pipa *coretube*, adanya operator khusus pengecekan material untuk setiap *coil*, memberikan *fan* pada atap ruangan guna membantu sirkulasi udara di ruangan dan diberikan ruangan seperti garasi.

Rekomendasi pertama yaitu diaturnya SOP baru yang lebih sesuai dalam pengecekan. Hal ini muncul karena metode yang saat ini masih menyebabkan lolosnya produk cacat ke proses berikutnya bahkan bisa sampai ke tangan konsumen dan menyebabkan reputasi perusahaan berkurang. Tabel 4.19 merupakan rekomendasi SOP.

Tabel 4.19

Rekomendasi SOP (*standard Operating Procedure*) Pengecekan pada Proses *Brazing*

	Standard Operating Procedure	SOP (<i>Standard Operating Procedure</i>) Pengecekan Proses <i>brazing</i>
1		Mengelompokkan material berdasarkan jenis material
2		Mengambil lembar <i>Order</i> yang telah disediakan
3		Mencari material sesuai lembar <i>Order</i>
4		Mengumpulkan seluruh material sesuai lembar <i>Order</i>
5		Melakukan pengecekan terhadap material yang sudah dikumpulkan
6		Melakukan pengecekan mesin <i>brazing</i>
7		Menyolokkan kabel mesin
8		Menyalakan mesin <i>brazing</i>
9		Menyetel mesin <i>brazing</i>
10		Melakukan proses <i>brazing</i>
11		Mematikan mesin <i>brazing</i>
12		Mencabut colokkan kabel mesin
13		Melakukan pengecekan kualitas setelah <i>brazing</i>
14		Melakukan perawatan mesin <i>brazing</i> secara berkala

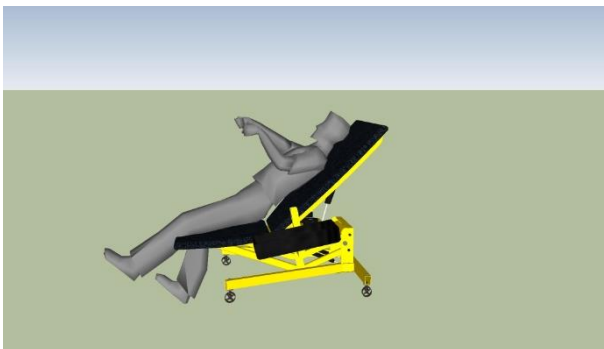
Rekomendasi alat pelindung telinga untuk operator, muncul dikarenakan operator yang tidak fokus karena terganggu bunyi mesin lain, hal ini dimunculkan karena operator saat melakukan proses *brazing* tidak menggunakan pelindung telinga (*earplug*) sehingga dengan rekomendasi tersebut dapat mengurangi operator yang tidak fokus terganggu mesin lain karena telah menggunakan pelindung telinga.

Rekomendasi pembuatan kontrak yang lebih tegas dan evaluasi berkala dikarenakan operator dilapangan yang ada di perusahaan lebih banyak operator *outsourcing*, sedangkan operator tersebut memiliki kewajiban untuk memenuhi kebutuhan produksi perusahaan, pada proses *brazing* masih sering terjadi sambungan yang tidak kuat yang juga merupakan kegagalan dari proses, setelah dianalisa ternyata salah satu penyebab utamanya adalah kurang terlatih di perusahaan perlu adanya evaluasi berkala yang selama ini belum dilakukan di perusahaan, hal ini akan mengurangi penyebab dikarenakan operator dan akan mengurangi kegagalan yang terjadi karena operator dievaluasi secara berkala dan diberikan penegasan kontrak untuk memenuhi kebutuhan produksi.

Perbaikan pada desain posisi kerja sangatlah berpengaruh terhadap tingkat kelelahan dari operator. Untuk memudahkan analisa pada kursi kerja, berikut akan ditunjukkan perbandingan kondisi kursi kerja saat ini dengan prediksi kondisi saat rekomendasi perbaikan diterapkan.



Gambar 4.24 Kondisi sebelum perbaikan saat operator posisi tidur



Gambar 4.25 Prediksi kondisi setelah perbaikan saat kondisi operator posisi tidur



Gambar 4.26 Kondisi sebelum perbaikan saat operator posisi duduk



Gambar 4.27 Prediksi kondisi setelah perbaikan saat operator posisi duduk



Gambar 4.28 Kondisi sebelum perbaikan saat operator posisi berdiri



Gambar 4.29 Prediksi kondisi setelah perbaikan saat operator posisi berdiri

Rekomendasi perbaikan kursi kerja untuk proses *brazing* ini muncul dikarenakan banyaknya keluhan operator yang merasa capek dan lelah saat melakukan proses *brazing*, operator harus berkali-kali mengubah posisi sesuai dengan lingkaran pipa yang harus di

brazing, bahkan operator harus sampai menggunakan kardus dan tidur dibawah benda kerja, atau berdiri untuk melakukan proses tersebut karena belum adanya fasilitas kursi kerja yang sesuai. Dengan rekomendasi kursi kerja ini dengan meja yang nantinya disediakan perusahaan untuk penyesuaian maka kegagalan karena operator yang kelelahan dan juga operator yang lalai karena capek akan berkurang atau bahkan bisa hilang karena tidak harus banyak mengubah posisi dan hanya mengubah posisi kursi untuk mendapatkan posisi yang nyaman dalam melakukan proses *brazing* sehingga jumlah cacat pada proses *brazing* dapat berkurang dan meningkatkan sigma dari produksi *heat exchanger*.

Rekomendasi membuat standar berdasar ketebalan pipa *coretube* muncul karena mesin yang digunakan manual dan ketebalan pipa berbeda-beda sehingga saat *setting* kesulitan sehingga berdampak pada hasil produk yang dibuat. Sehingga standar tersebut dapat mengurangi kesulitan *setting* mesin karena setiap perbedaan ketebalan ada standar dari *setting* mesin tersebut.

Rekomendasi adanya operator khusus pengecekan material untuk setiap *coil* muncul material yang tidak sesuai masih lolos sampai masuk pada proses *brazing*. Hal ini mengindikasikan kurangnya pengecekan saat pemilihan material dikarenakan operator nya yang mengambil material adalah operator proses *coil assembly*.

Rekomendasi memberikan *fan* pada atap ruangan guna membantu sirkulasi udara di ruangan ini muncul karena suhu ruangan kerja kurang nyaman dan pembatas seperti garasi untuk ruangan yang terlalu terbuka sehingga terganggu karena bunyi dari mesin lain dan dapat berpengaruh pada kenyamanan operator.

Seluruh rekomendasi yang diberikan memang tidak secara langsung dapat mengurangi cacat, tetapi dengan rekomendasi tersebut dapat mengurangi faktor yang menyebabkan kecacatan. Sehingga rekomendasi tersebut secara tidak langsung dapat mengurangi kecacatan pada proses *brazing*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

Bab ini menjelaskan penutup mengenai kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian dalam pembahasan dan saran yang diberikan berdasarkan pengalaman dan pertimbangan dari hasil diskusi bersama pihak perusahaan terkait dengan penelitian yang telah dilakukan. Berikut adalah kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Jenis cacat proses *brazing* berdasarkan ISO 5817 di perusahaan *heat exchanger*, Pandaan yaitu pipa retak setelah proses *brazing*, pipa keropos setelah proses *brazing*, lubang pada daerah start dan stop di daerah *brazing*, cacat pada sambungan las kurang pelelehan pada sisi pinggir pipa, dan kerusakan mekanis.
2. Penyebab cacat potensial dari proses *brazing* yang perlu menjadi prioritas terlebih dahulu untuk dilakukan perbaikan adalah faktor metode adalah *checking* terkadang terlewat, faktor manusia adalah operator yang kurang fokus, operator yang kurang terlatih dan kelalaian operator, dari faktor mesin yaitu mesin sulit di *setting* karena di *setting* manual menyesuaikan dengan ketebalan pipa *coretube*, faktor material yang masih belum sesuai berupa logam berminyak, *U-bend* tercampur, logam las kotor, jenis pipa terlalu tipis, dari faktor lingkungan yaitu suhu ruangan yang kurang nyaman, suhu yang panas di daerah perusahaan *heat exchanger* Pandaan, ruangan yang terlalu bising.
3. Rekomendasi perbaikan untuk meminimalisir jumlah cacat pada proses produksi *heat exchanger* yang berfokus pada proses *brazing* terdiri dari 7 hal. Rekomendasi yang diberikan yaitu diatur SOP baru yang lebih sesuai dalam pengecekan, alat pelindung telinga untuk operator, memberikan syarat pengalaman kerja atau pelatihan sebelum bekerja, memberikan perbaikan kursi kerja untuk proses *brazing*, membuat standar berdasar ketebalan pipa *coretube*, adanya operator khusus pengecekan material untuk setiap *coil*, memberikan *fan* pada atap ruangan guna membantu sirkulasi udara di ruangan dan diberikan pembatas ruangan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang bisa diberikan antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkan pihak perusahaan dapat mengimplementasikan rekomendasi yang diberikan dari hasil penelitian ini.
2. Rekomendasi kursi kerja yang dibuat masih belum sempurna, sehingga dibutuhkan penyempurnaan lokasi kerja yang disesuaikan dengan kebutuhan.
3. Rekomendasi membuat standar berdasar ketebalan pipa *coretube* dapat dibuat rinci guna penyempurnaan penyelesaian masalah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhuraish, et all. (2016). *Assessment of Lean Manufacturing and Six Sigma operation with Decision Making Based on the Analytic Hierarchy Process*. IFAC-PapersOnLine 49-12 (2016) 059–064.
- Ariani, Dorothea Wahyu. (2004). *Pengendalian Kualitas Statistik: Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas*. Yogyakarta : Andi.
- Aslani, et all. (2014). A Hybrid of Fuzzy FMEA-AHP to Determine Factors Affecting Alternator Failure cause. *Management Science Letters*. 1981-1984
- Assauri, Sofjan. (2004). *Manajemen Produksi dan Operasi*, Fakultas Ekonomi UI, Jakarta
- Birjandi, A. (2008). *Discharge Planning Handbook for Healthcare*. United States: Taylor and Francis Group.
- Breyfogle, Forrest. (2003). *Implementing Six Sigma Smarter Solutions Using Statistical Methods*. Texas. John Willey & Sons.
- Bhushan, N. & Rai, K. (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. London: Springer-Verlag.
- Dyadem. (2003). *Guidelines for Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Analysis Automotive, Aerospace and General Manufacturing Industries*. CRC Press: Florida.
- Evans, J.R & Lindsay, W.M. (2007). *Pengantar Six Sigma; An Introduction to Six Sigma and Process Improvement*. Jakarta: Salemba Empat.
- Furqandari, N. (2015). *Analisis Key Buying Factors Produk Karkas Ayam dengan Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Garvin, David. (2006). *Managing Quality*. New York: The New York Press.
- Gaspersz, Vincent. (2015). *The Executive Guide to Implementing Lean Six Sigma*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Pusat.
- Gaspersz, Vincent. (2015). *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Pusat.
- Gazperz, Vincent. (2002). *Pedoman Implementasi Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001 : 200, MBNQA & HACCP*. Jakarta:PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kamble, S. T.Z Quazi. Vaibhav. (2014). *FMEA of Shell Moulding Process and Prioritizing by Using AHP*. ISSN (ONLINE): 2321-3051
- Kusrini. (2007). *Konsep dan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Andi
- Kuswadi & Mutiara, E. (2004). *DELTA, Delapan Langkah dan Tujuh Alat Statistik untuk Peningkatan Mutu Berbasis Komputer*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.

- Montgomery, Douglas C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition. USA : Jhon Wiley & Son, Inc.
- Mustikarini, Wahyu. (2014). *Evaluasi Proses Produksi Sebagai Upaya Untuk Meminimasi Waste dengan Pendekatan Lean Six Sigma*. Tidak dipublikasikan. Malang. Universitas Brawijaya.
- Pande, et all. (2000). *The Six Sigma Way*. Terjemahan: Dwi Prabantini. Yogyakarta: Andi
- Park,S.H. (2003). *Six Sigma For Quality and Productivity Promotion*. Tokyo: Asian Production Organization.
- Pillay, A. & Wang, J. (2002). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*. 79: 69-85.
- Pugna, et all. (2015). *Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company*. SIM 2015 / 13th International Symposium in Management. 308 – 316
- Reksohadiprojo, Soekanto & Indriyo GitoSudarmo. (2000). *Manajemen Produksi*. Edisi keempat. BPFE. Yogyakarta.
- Sitompul, Tunggul M. (1993). *Alat Penukar Kalor*. Jakarta : RajaGrafindo Persada.
- Syamsiar, Arif Rohman. (2016). *Penerapan DMAI SIX SIGMA untuk meningkatkan kualitas Packaging Semen*. Tidak dipublikasikan. Malang. Universitas Brawijaya.
- Saaty, T. L. (1992). *Multicriteria Decision Making - The Analytical Hierarchy Process*, Pittsburg, RWS Publications
- Webber, L. (2007). *Quality Control for Dummies*. Canada: Willey Publishing Inc.
- Yamit, Zulian. (2005). *Manajemen kualitas produk dan jasa*. Edisi Pertama. Ekonisia. Kampus Fakultas Ekonomi UII Yogyakarta